



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

VESA PIETILÄ  
ÄLYKKÄÄN KIIINTEISTÖN ENERGIANKULUTUKSEN SEURAN-  
NAN KEHITTÄMINEN JA DEMONSTROINTI  
Diplomityö

Tarkastaja: professori Lauri Sydän-  
heimo ja professori Pertti Järven-  
tausta  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta-  
neuvoston kokouksessa 7. maalisi-  
kuuta 2012

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Sähkötekniikan koulutusohjelma

**PIETILÄ, VESA:** Älykkään kiinteistön energiankulutuksen seurannan kehittäminen ja demonstrointi

Diplomityö, 65 sivua

Huhtikuu 2013

Pääaine: Elektroniikka

Tarkastaja: professori Lauri Sydänheimo ja professori Pertti Järventausta

Avainsanat: Älykoti, älykäs kiinteistö, kotiautomaatio, energiansäästö

Asumiseen tarvittavan energian havainnointi on yleensä vaikeaa asukkaalle. Jotta asukas voisi laskea energiankulutustaan, on hänen saatava palautetta omien toimiensä vaikutuksesta. Diplomityön kirjallisuuteen perustuvassa osuudessa tarkastellaan ihmisen käyttäytymistä ja käyttöliittymien psykologista vaikutusta energiankulutukseen.

Asunto-osakeyhtiö Adjutanttiin toteutettiin seurantajärjestelmä, jonka avulla asukas pystyy seuraamaan oman asuntonsa eri kohteiden kulutusta, kuten sähköenergian, lämpöenergian ja veden kulutusta. Seurantamahdollisuuden myötä tavoitellaan energiansäästöä.

Seurantajärjestelmän kehitystä varten toteutettiin demonstraatiolaitteisto Tampereen teknillisen yliopiston tiloihin. Demonstraatiolaitteiston avulla pystyttiin kehittämään Adjutanttiin suunniteltuja toiminnallisuuksia ja varmistamaan seurantajärjestelmän teknisten toteutusten toimivuus ennen vastaavanlaisen asentamista Adjutanttiin. Demonstraatiolaitteistossa on lähes vastaavat mittarit ja laitteet kuin Adjutantissakin, mutta laitteiston asennusympäristön vuoksi palautteen vaikutusta käyttäytymisen muutokseen ei voida tutkia.

Asuntoihin tarkoitettujen automaatiolaitteiden kehitys on mahdollistanut erilaiset tekniset ratkaisut, jotka auttavat asukasta saavuttamaan energiansäästöä. Asukkaalle esitettävien mittauksista muodostettujen tulosten esitysmuoto on tärkeässä osassa tavoiteltaessa energiansäästöä. Tehokkaasti toimiva kokonaisuus muodostuu teknisten ratkaisuiden ja käyttöliittymän sulavasta yhdistelmästä, joiden toiminnan asukas pystyy ymmärtämään riittävällä tasolla.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

**PIETILÄ, VESA:** Monitoring Smart Home Energy Consumption: Development and Demonstration

Master of Science Thesis, 65 pages

April 2013

Major: Electronics

Examiners: Professor Lauri Sydänheimo and professor Pertti Järventausta

Keywords: Smart home, smart property, home automation, energy savings

People often have difficulty monitoring the energy consumption in their residences. To be able to decrease energy consumption the resident requires feedback of the impact of their behavior. In the literature based part of this thesis human behavior and the psychological influence of user interfaces to energy consumption are reviewed.

In Adjutantti condominiums a monitoring system was implemented with which the resident is able to monitor the consumption of electricity, heat energy and water in their apartment. The aim of the monitoring system is to create energy savings.

A demonstration installation was built at Tampere University of Technology for developing the monitoring system. The demonstration installation made it possible to develop the planned functionalities and confirm the maturity of the technical implementation before a similar system was assembled in Adjutantti. In the demonstration system the measurement units and devices were similar to the ones in Adjutantti. However, because of the environment of the demonstration installation there was no possibility to observe the influence of feedback on the resident's behavior.

Development of the automation devices which are meant to be used in a home environment has enabled a variety of technical solutions to be used to help the resident save energy. The format in which the measurement results are presented is critical in pursuing energy savings. A system that works efficiently is a smooth combination of technical solutions and the user interface which the resident can understand at a satisfactory level.

## ALKUSANAT

Kiitokset ohjaajalle ja työn tarkastajalle, professori Pertti Järventaustalle pitkäjänteisestä avusta ja neuvoista diplomityön eri vaiheissa. Kiitos myös Lauri Sydänheimolle työn tarkastamisesta ja ohjaamisesta.

Projektin yhteistyökumppaneita haluan kiittää yhteistyöstä. Erityiset kiitokset Vesa Koivistolle, Satu Ryytänselle, Harri Liukulle, Jukka Veteläsuolle, Henri Jokiselle, Kalle Kivimaalle ja Iikka Jaakkolalle.

Työn seikkaperäisten muotoilujen konsultoinnista ja avusta kiitokset Elinalle. Vanhemmille kiitokset kannustuksesta ja tukemisesta koko opiskeluajalta.

# SISÄLLYS

1	Johdanto .....	1
2	Päivittäiseen käyttöön tulevan järjestelmän hyväksymisen psykologinen perusta ...	3
2.1	Uuden järjestelmän hyväksyntä .....	3
2.2	Käytettävyys .....	4
2.3	Esteettisyys .....	5
2.4	Järjestelmän käyttäminen .....	5
2.5	Jokapäiväiset suoritukset .....	6
2.6	Motivaatio .....	7
2.7	Asunto psykologisena tilana .....	11
3	Palautteen vaikutus asumisen energiankulutukseen .....	12
3.1	Palautteen eri muodot .....	12
3.2	Mittari palautteen lähteenä .....	13
3.3	Tiedottava laskutus .....	14
3.4	Internet-pohjainen palaute .....	15
3.5	Palautteen vaikutus käyttäytymiseen .....	17
4	Käyttöliittymien käyttäjäkeskeinen suunnittelu .....	19
4.1	Tiedon jakautuminen muistiin ja maailmaan .....	19
4.2	Muistin rakenne .....	19
4.3	Rajoitukset .....	20
4.4	Luonnollinen miellelyhtymä .....	21
4.5	Näkyvyys ja palaute .....	22
4.6	Suunnittelu virheiden varalta .....	23
5	Asuntojen automaatiotekniikka .....	25
5.1	Taloautomaatiojärjestelmä X10 .....	25
5.2	Taloautomaatiojärjestelmä KNX .....	27
5.2.1	Historia .....	27
5.2.2	Edut .....	27
5.2.3	Siirtotiet .....	28
5.2.4	Ohjelmointi .....	36
5.2.5	Liitynnät muihin järjestelmiin .....	37
5.3	Taloautomaatiojärjestelmä digitalSTROM .....	37
5.3.1	Edut .....	37
5.3.2	Tekniikka .....	38
5.3.3	Ominaisuudet .....	39
5.3.4	Asennus .....	39
5.3.5	Energianmittaus .....	40
5.3.6	Sähköverkon kuormanhallinta .....	40
5.3.7	Kehittäjät .....	41
5.3.8	Tietoturva .....	41
6	Adjutantti – ekologinen kerrostalo .....	42

6.1	Yleiskuvaus Adjutantista .....	42
6.2	Energiatehokkuus.....	42
6.3	Huoneistokohtainen mittaus.....	43
6.4	Mittausten esitys käyttäjälle .....	43
7	Älykkään asunnon demonstraatiolaitteisto .....	45
7.1	Demonstraatiolaitteiston käyttö ja ympäristö.....	46
7.2	Mittarit ja laitteet.....	48
7.3	Tiedonsiirto laitteiden ja verkkosivujen välillä.....	51
7.4	Kehitysmahdollisuudet.....	52
8	Adjutantin asukkaan käyttöliittymänäkymät.....	54
8.1	Verkkosivupohjainen käyttöliittymä.....	54
8.2	Huoneistokohtaiset laitteet .....	57
9	Yhteenveto ja johtopäätökset .....	60
	Lähteet.....	63

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

AM	Käyttömoduuli (engl. application module)
BCU	Väyläliitäntäyksikkö (engl. bus control unit)
CSMA/CA	Hajautettu väyläyhteysmenetelmä (engl. Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)
digitalSTROM	Taloautomaatiojärjestelmä digitalSTROM
dSID	digitalSTROM siru (engl. digitalSTROM chip)
dSM	digitalSTROM mittari (engl. digitalSTROM Meter)
dSS	digitalSTROM palvelin (engl. digitalSTROM Server)
ECOIS	Internet-pohjainen interaktiivinen järjestelmä (engl. Energy Consumption Information System)
EHSA	Euroopan kotiautomaatioyhdistys (engl. European Home System Association)
EIB	Kiinteistöautomaatiojärjestelmä European Installation Bus
IC	Integroitu piiri (engl. IC integrated circuit)
IP	Internet-kerroksen protokolla (engl. Internet Protocol)
KNX	Taloautomaatiostandardi
LED	Ledi (engl. Light-Emitting Diode)
M-Bus	Standardi kaukoluetaan (engl. Meter-Bus)
MST	Motivoivien järjestelmien teoria (engl. Motivational System Theory)
PC	Henkilökohtainen tietokone (engl. Personal Computer)
PEI	Fyysinen liitäntä (engl. Physical External Interface)
PLC	Datasähkö (Power Line Communication)
RS-232C	Sarjaliikennestandardi (engl. Recommended Standard 232C)
SFSK	Hajautettu vaihtotaajuuskoodaus (engl. Spread Frequency Shift Keying)
TCP	Tietoliikenneprotokolla (engl. Transmission Control Protocol)
USB	Sarjaväyläarkkitehtuuri (engl. Universal Serial Bus)
WLAN	Langaton lähiverkkotekniikka (engl. Wireless Local Area Network)
X10	Kommunikaatioprotokolla taloautomaatioon

# 1 JOHDANTO

Yksittäisen ihmisen energiankulutuksen osuus koko energiankulutuksesta on hyvin pieni. Ihmisen käyttäytymisen muutoksella voidaan kuitenkin saavuttaa suuria energiansäästöjä. Vaikka yhden ihmisen kuluttama energiamäärä on vain hyvin pieni osa koko energiankulutuksesta, muodostuu suuresta joukosta yhdessä merkittävä osa.

Tavoite diplomityössä on kaksiosainen. Teoreettisessa osuudessa tutkitaan käyttöliittymien psykologista vaikutusta energiankulutukseen ja erilaisten teknisten järjestelmien mahdollisuuksia alentaa energiankulutusta. Toinen osa koostuu demonstraatiolaitteiston rakentamisesta kerrostaloasunto-osakeyhtiö Adjutanttiin suunniteltujen järjestelmien toiminnan varmistamiseksi. Ekologinen kaupunkiasuminen on Adjutantin keskeisiä teemoja. Teknisten ratkaisujen ja asukkaalle tarjottavan käyttöliittymän yhteen nivoutumisen vaikutuksia tullaan tutkimaan Adjutantissa myös jatkossa.

Ihmisen käyttäytymisen muutos ja uuden asian hyväksyminen on olennainen osa tavoiteltaessa energiansäästöä. Kappaleessa kaksi käsitellään ihmisen toimintamallia ja motivaatiota. Jotta uusi asia hyväksytään, tulee sen olla mielekästä ja hyödyllistä käyttäjälle. Uudesta asiasta muodostuu ajan saatossa käyttäjälle osa jokapäiväistä toimintaa.

Oman toiminnan vaikutusten seuraamiseksi tarvitaan palautetta. Energiankulutusta voidaan esittää monella eri tavalla käyttäjälle. Palautteen antamisen ajankohta on myös merkittäviä. Palautetta tarvitaan eri tavalla riippuen siitä ollaanko opettelemassa uutta asiaa vai onko se jo osa jokapäiväistä toimintaa. Energiankulutusta esittävien laitteiden ja järjestelmien käyttöliittymien vaikutusta energiankulutukseen kartoitetaan luvussa kolme.

Laitteiden käyttöliittymien suunnittelun perusteita käsitellään luvussa neljä. Nämä antavat pohjaa tarkastella ihmisen motivaatiota käyttää järjestelmää. Käyttöliittymää suunniteltaessa tulisi pitää mielessä edellisten lukujen pääperiaatteet ja toteuttaa niiden vaatimukset.

Viidennessä luvussa tutkitaan kolmea automaatiojärjestelmää. Yksi näistä automaatiojärjestelmistä, KNX, on valittu käytettäväksi Adjutantissa ja täten myös demonstraatiolaitteistossa. Teknisiltä toteutustavoiltaan järjestelmät ovat hyvinkin erilaisia, mutta kaikissa on mahdollisuus tarjota loppukäyttäjälle erilaisia käyttöliittymiä ja järjestelmän säätömahdollisuuksia.

Tähän työhön rakennettu demonstraatiolaitteisto on esitelty luvussa seitsemän. Demonstraatiolaitteiston tehtävänä on mahdollistaa Adjutanttiin suunniteltujen toimintojen testaaminen ja niiden kehittäminen. Demonstraatiolaitteen ja Adjutantin vastavuus teknisiltä ratkaisuilta on pyritty pitämään samankaltaisina. Ympäristössä on eroja,



mutta pääosa toiminnoista voidaan kuitenkin testata demonstraatiolaitteiston avulla. Asukkaan toimia ja käyttäytymistä ei demonstraatiolaitteistolla voida kuitenkaan havainnoida.

Adjutanttin varhaisia käyttöliittymänäkymiä esitellään luvussa kahdeksan. Asukaille esitetään kylmän ja lämpimän käyttöveden, sähköenergian ja lämpöenergian kuluusta omasta huoneistosta. Mittaustulokset ovat nähtävillä huoneistokohtaiselta kosketusnäytöltä tai verkkosivuilta. Verkkosivuilla on nähtävillä myös Adjutanttin katolle asennettujen aurinkopaneelien ja hissistä saatavan sähköenergian tuotto. Mittaustulokset asuntokohtaisesti ovat lähes reaaliaikaisia, joten omien toimien vaikutuksen voi havaita nopeasti. Historiatietoja voidaan selata verkkosivuilta ja tehdä vertailua niiden pohjalta esimerkiksi oman toimintatavan muutoksen vaikutuksesta pitkällä aikavälillä.

## **2 PÄIVITTÄISEEN KÄYTTÖÖN TULEVAN JÄR- JESTELMÄN HYVÄKSYMISEN PSYKOLOGINEN PERUSTA**

Jokapäiväiset asiat muodostavat rungon päivittäisille tehtäville ja toimille myös asumisessa. Ennen kuin uusista asioista voi tulla osa jokapäiväistä toimintaa, niiden on oltava mielekäs osa käyttäjän elämää ja tällä tavoin ansaittava hyväksyntä. Asioiden suorittaminen muodostuu useammasta vaiheesta. Kun suorittamisesta tulee sellaista, mikä ei vaadi paljoa huomiota, siitä tulee osa jokapäiväistä toimintaa. Tehtävän aloittamiseen ja suorittamiseen tarvitaan motivaatiota. Motivaatio selittää ihmisen toimia ja tarpeita.

Tässä kappaleessa esitetyjä teorioita käytetään hyväksi analysoitaessa mitä asukkaat haluavat asunnon toiminnallisuudelta ja käyttöliittymältä. Teoriat antavat pohjaa ymmärtää ihmisen käyttäytymistä uuden järjestelmän hyväksymisessä.

### **2.1 Uuden järjestelmän hyväksyntä**

Hyödyllisyys on yksi merkittävä asia järjestelmän hyväksymisessä. Hyödyllisyys voidaan nähdä osana järjestelmän hyväksymistä, joka kuvaa täyttääkö järjestelmä käyttäjien ja muiden sidosryhmien tarpeet ja vaatimukset. Kokonaisvaltainen hyväksyntä muodostuu laajemmasta kokonaisuudesta, jonka osa-alueita ovat sosiaalinen hyväksyntä ja käytännöllinen hyväksyntä. Sosiaalinen hyväksyntä voi muodostua esimerkiksi samalaisten piirteiden omaamisesta, uskonnosta, samantyyppisten tavaroiden omistamisesta tai muista yhteenkuuluvista asioista. Järjestelmää ei hyväksytä, jos se ei täytä sekä sosiaalista hyväksyntää että käytännöllistä hyväksyntää. (Nielsen 1993.) Hyvät kokemukset käytettävyydestä eivät takaa hyväksyntää, jos järjestelmä ei saavuta sosiaalista hyväksyntää. Esimerkiksi kulttuurilliset normit voivat olla ristiriidassa järjestelmän käyttämisen kanssa. Samalla tavalla järjestelmä vaatii myös sosiaalisen hyväksynnän lisäksi käytännöllisen hyväksynnän.

Käytännöllistä hyväksyntää voidaan tarkastella erilaisten kategorioiden, kuten hinnan, saavutettavuuden, huollon, tuen, luotettavuuden ja yhteensopivuuden muiden järjestelmien kanssa, sekä hyödyllisyyden kautta. Hyödyllisyydellä tarkoitetaan voidaanko järjestelmällä saavuttaa asetetut tavoitteet. Hyödyllisyys voidaan edelleen jakaa kahteen kategoriaan; käyttöön ja käytettävyyteen. (Nielsen 1993.) Käytöllä tarkoitetaan voidaanko järjestelmällä suorittaa sille asetetut tehtävät ja käytettävyydellä miten käyttäjä pystyy suorittamaan tehtävää järjestelmällä (Nielsen 1993; Shackel 2008). Shackel (2008) määrittelee hyväksynnän yhtälön kautta, jossa käytön ja käytettävyyden lisäksi huomioidaan pidettävyys, joka tarkoittaa käyttäjän tuntemaa mielekkyyttä järjestelmän

käytöstä. Näitä verrataan kustannuksiin, jolloin päästään tulokseen, joka kertoo järjestelmän hyväksyttävyyden. (Shackel 2008.)

## 2.2 Käytettävyys

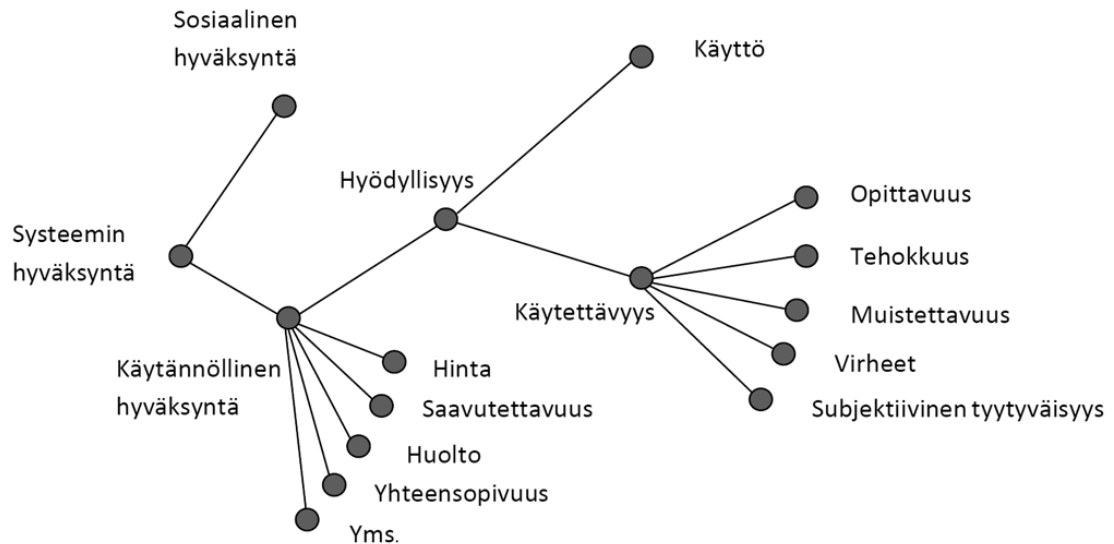
Käytettävyys on määritelty ISO 9241-11 standardissa. Tuotteen käyttölaajuus, jota määrätty käyttäjä voi käyttää saavuttaakseen määritellyt tavoitteet tarkasti ja täysin, tehokkaasti, ilman haittoja, positiivisella asenteella tuotetta kohtaan ja käyttäjän ominaisuuksien, tehtävän ja organisaation sekä fyysisen ympäristön mukaan määrittelevät käytettävyyden. (ISO/IEC 9241-14.) Käytettävyys on standardissa määritelty hyvin yleisellä tasolla. Käytettävyydellä kuvataan käyttäjän kannustamista saavuttamaan asetetut tavoitteet, eikä vain käyttöliittymän ominaisuuksia. (Jokela et al. 2003.)

Käytettävyys on laaja käsite ja se voidaan ymmärtää monella tavalla. Määritelmä tarkoittaa ensinnäkin, että käyttäjän, tuotteen ja järjestelmän toiminnot muodostavat käytettävyyden. Toiseksi tavoitteiden täyttämiseksi tehdään toimintoja, jotka mittaavat käytettävyyttä. Käytettävyys on kompleksinen aihe. (Jokela et al. 2003.)

Nielsen (1993) jakaa käytettävyyden viiteen osaan:

- Opittavuus (learnability) kuvaa kuinka helppo järjestelmää on oppia käyttämän ja saada tehtyä sen avulla tarkoitetut tehtävät.
- Tehokkuus (efficiency) mittaa käyttäjän mahdollista tuottavuuden tasoa, kun järjestelmä on opittu.
- Muistettavuus (memorability) osoittaa kuinka helppoa järjestelmää on käyttää uudelleen ilman uudelleenopettelua.
- Virheitä tulisi olla mahdollisimman vähän ja niistä toipuminen tulisi olla helppoa. Järjestelmän kaatavia virheitä ei saa esiintyä.
- Käyttäjän tulisi kokea subjektiivista tyytyväisyyttä (subjective satisfaction), jolloin järjestelmän tulee olla mieluisaa käyttää.

Kuvassa 2.1 on esitetty, Nielsenin (1993) mukaillen, hyväksyttävyyden jakautumien eri osiin.



**Kuva 2.1.** Malli järjestelmän hyväksymisestä (Nielsen 1993).

Tässä työssä käytettävyys nähdään yllä mainittujen määritelmien yhdistelmänä. Tarkkaa rajausta standardin (ISO/IEC 9241-14) ja Nielsenin (1993) esittämien määritelmien välille ei ole mielekasta tehdä tämän työn puitteissa, koska tarkoituksena on esitellä käytännönläheisiä asioita auttamaan paremman käytettävyyden saavuttamisessa.

## 2.3 Esteettisyys

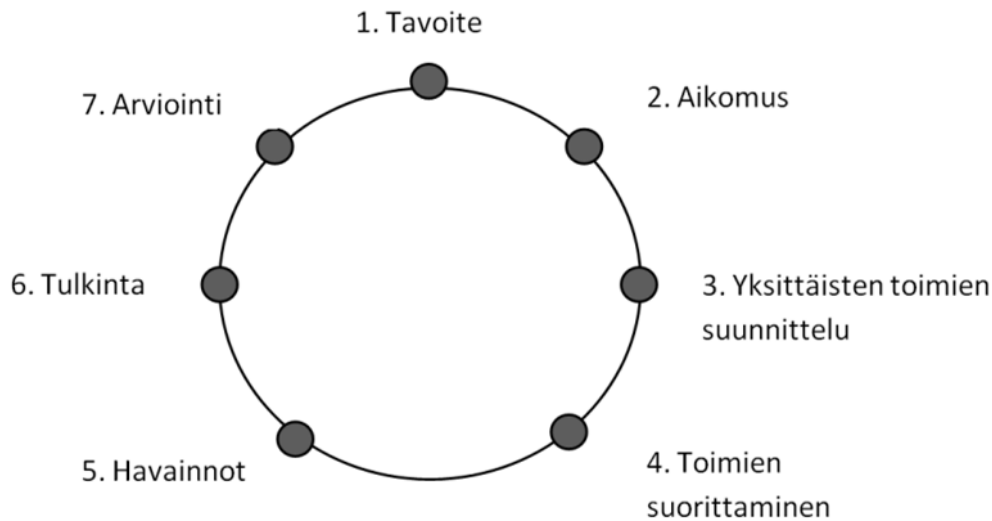
Käytettävyys voidaan jakaa myös kolmeen eri osa-alueeseen. Käytettävyys mielletään ensisijaisesti käytännölliseksi hyödyksi, jolloin ajatellaan soveltuvuutta käyttötarkoitukseen. Sadetakki on tarkoitettu pitämään käyttäjä kuivana sateella ja auto taas kuljetta- maan paikasta toiseen. (Redström 2001, s. 10-13.) Maslowin tarvehierarkiankin mukaan tulee selväksi, että pelkkä käytännöllinen hyöty ei täytä kaikkia ihmisen tarpeita (Heylighen 1992). Sosiaalinen hyöty ja Nielsenin (1993) mainitsema sosiaalinen hyväksyntä ovat lähellä toisiaan (Redström 2001; Nielsen 1993). Kolmas osa on esteettisyys. Auto kuljettaa paikasta toiseen, mutta käyttäjä arvostaa myös sen esteettisyyttä. (Redström 2001, s. 10-13.)

Esteettisyydestä on monta mainintaa ja osa selityksistä on ristiriitaisia. Norman mainitsee esteettisyyden olevan silmää miellyttävää. Hän kaventaa esteettisyyden määritelmän siihen, millaiselta jokin näyttää katsojan silmiin. (Norman 1998, s. 151.) Redström (2001) kritisoi Normanin (1998) määritelmää. Hänen mukaansa esteettisyys on muutakin kuin visuaalinen ulkonäkö. Esteettisyys muodostuu äänistä ja näkymistä, mis- sä nämä kohtaavat käyttäjän odottamalla tavalla. (Redström 2001, s. 13-14.)

## 2.4 Järjestelmän käyttäminen

Norman (1998) on tutkinut suorittamisen rakennetta ja määritellyt sen koostuvaksi kol- mesta vaiheesta: aikomus, toteuttaminen ja arviointi. Nämä voidaan edelleen jakaa seit-

semään jaksoon, jotka on esitetty kuvassa 2.2. Jotta jotain saadaan aloitetuksi, tarvitaan tavoite (vaihe 1), joka pyritään toimilla saavuttamaan.



**Kuva 2.2.** Suorittamisen vaiheet (Norman 1998).

Aikomus syntyy, kun yksilön kannalta epätydyttävä asiantila eli nykyinen tilanne ei vastaa haluttua lopputulosta. Yleensä aikomuksen viriäminen vaatii sekä ulkoista että sisäistä ärsykettä. Aikomus tarkoittaa tavoitteiden saavuttamiseksi tarvittavien toimien tarkkaa määrittelemistä (vaihe 2). Toimien toteuttaminen on tekemistä tyydyttämään aikomuksen. Toteuttaminen koostuu kahdesta vaiheesta; yksittäisten toimien suunnittelusta ja niiden fyysisestä suorittamisesta (vaiheet 3-4). Arviointi alkaa havainnoilla (vaihe 5). Ne tulkitaan suorittajan olettamuksien mukaan ja arvioidaan suhteessa aikomuksiin ja tavoitteisiin (vaiheet 6-7). Kaiken aikaa yksilö kerää tietoa ja saa vaikutteita ympäristöstä, jotka vaikuttavat arviointeihin. Arvioinnin tulos synnyttää uuden perustan tuleville tavoitteille ja toimille. (Norman 1998, s. 45-49; Nummenmaa 1987, s. 238-242.)

Seitsemän jaksoa ei muodosta tarkkaa mallia. Vaiheet eivät ole täysin diskreettejä vaan ne sulautuvat osittain toisiinsa ja kaikkia vaiheita ei tarvitse käydä läpi esitetyssä järjestyksessä. Useimmat tavoitteet eivät täyty yhdellä kierroksella, jolloin tarvitaan useampi kierros uusine tai muokattuine tavoitteineen. (Norman 1998, s. 48.)

## 2.5 Jokapäiväiset suoritukset

Monet päivittäisistä tehtävistä ovat rutiineja, jotka vaativat vain vähän huomiota ja suunnittelua. Näitä ovat esimerkiksi hampaiden harjaus, syöminen ja pukeutuminen. Nämä toimet vievät päivän ajasta suurimman osan. Tehtävät, jotka vaativat huomattavaa tietoista suunnittelua, eivät ole jokapäiväisiä tehtäviä. Loman ja erikoisen ruuan suunnittelu sekä keskittymistä ja ajattelua vaativien pelien pelaaminen ovat esimerkkejä näistä tehtävistä. (Norman 1998, s. 124-125.)

Päivittäiset tehtävät perustuvat ihmisten tietoon, joka heillä on ympäristöstään ja heistä itsestään. Kurt Lewinin mukaan yksittäisen ihmisen käyttäytymisen ymmärtämi-

nen muodostuu sen mukaan millaisia kokemuksia tarkkailijalla on ympäristöstään. Objektiivinen ympäristö muodostuu subjektiivisesti eletyn elämän kautta, johon liittyy ne seikat, jotka ovat tärkeitä sillä hetkellä elämää. Erilaiset päivittäiset mallit ja tavat toimia muodostuvat koetun elämän kautta. (Norman 1998, s. 124-125; Pietikäinen 1999-2002.) Päivittäisille tehtäville tyypillisiä piirteitä ovat:

- Päivittäisillä tehtävillä ei yleensä ole selkeää alkua tai loppua.
- Keskeytykset ovat odotettavia.
- Voidaan ajatella jatkuviksi, vaikka ne joskus toimivatkin taustalla.
- Mittana käytetään yleensä aikaa.

Jokapäiväisten tehtävien suorittamiseen ei haluta käyttää aikaa eikä syvällistä pohdintaa. Niiden suorittaminen tulisi olla suhteellisen nopeaa ja yleensä samanaikaista muiden tehtävien kanssa. Puhelinnumeron valintaan ja ruokapaketin avaamiseen ei haluta käyttää aikaa, eikä henkisiä voimavaroja, vaan näitä halutaan käyttää esimerkiksi ajatusta vaativiin peleihin ja vapaa-ajan aktiviteetteihin. Tärkeintä suunniteltaessa jokapäiväiseksi tarkoitettua tehtävää on pitää sen rakenne, joko pinnallisena, jolloin se voi olla leveä tai kapeana, jolloin sen rakenne voi olla syvä. Kummassakin tapauksessa tehtävän suorittaminen vaatii vain vähän aikaa ja henkisiä voimavaroja. (Norman 1998, s.124; Redström 2001, s.16; Abowd & Mynatt 2000, s. 42-43.)

## 2.6 Motivaatio

Nummenmaan (Nummenmaa et al. 1987) mukaan fysiologisten perustarpeiden, kuten nälän, janon ja seksuaalivietin tyydyttämisiin liittyvä toiminta on monilta osin vaisto- maista ja geneettisesti määräytyviin toimintakaavoihin perustuvaa. Näiden perusteella voidaan selittää joltain osin ihmisen toiminnan suuntautuneisuutta. On ajateltu, että biologisista perustarpeista muodostuu ihmisen toiminnan motiivit. Esimerkiksi Freudin mukaan seksuaalivietti oli suurelta osin selittämässä toiminnan motiiveja. Maslowin tarvehierarkian mukaan motiivi perustuu hierarkkiseen rakenteeseen, jossa fysiologiset perustarpeet on tyydytettävä ensin ja siitä korkeammalla tarvehierarkiassa olevat tasot voidaan saavuttaa näiden jälkeen. Näitä malleja kutsutaan tarvedynaamisiksi malleiksi ja – teorioiksi, jotka noudattavat yksinkertaistaen kaaviota, jossa tarpeen viriämisestä seuraa toiminta ja toiminnan tuloksena tarpeen tyydytys. (Nummenmaa et al. 1987, s. 15-19.)

Näillä malleilla on ilmeisiä rajoituksia. Selitys jää yleisluontoiseksi ja usein kehäpäätelmäksi. Kuitenkaan kattavaa ja tyydyttävää tarpeiden kuvausjärjestelmää ei ole pystytty luomaan. Tämä voi johtua siitä, että ongelma nähdään liian yksinkertaisena. Etääntyessä biologisten perustarpeiden tarkastelusta ja tarvedynaamisista malleista motivaation erottaminen tarkasteltavaksi erilliseksi tutkimuskohteeksi hankaloituu. Motiivit kehittyvät osana ihmisen kokonaiskehitystä ja siihen vaikuttavat myös elämäntilanteissa koetut tilanteet. Kehityksen tuloksena syntyy vaihtelevia rakenteita kuten uskomuksia, asenteita ja arvoja. Nämä vaikuttavat nykyisen tilanteen tavoitteiden ja toiminnan kohteisiin. Motivaation selitykset vaihtelevat suuresti sen mukaan, minkä tasoisesta

ja tyyppisestä suuntautuneesta toiminnasta on kulloinkin kyse. (Nummenmaa et al. 1987, s. 15-19.)

Martin E. Fordin motivoivien järjestelmien teoria (Motivational Systems Theory, jatkossa lyhenne MST) kuvaa toimintojen tehokkuutta tavoiteltujen saavutusten aikaansaamiseksi. Saavutukset ovat määritelty henkilökohtaisesti tai sosiaalisesti arvokkaiksi tavoitteiden lopputuloksiksi tietyssä ympäristössä. Tavoitteiden saavuttamisen tavalla on myös merkitystä. Tavoitteiden saavuttamien tulisi tehdä hyväksyttävillä keinoilla, jotka johtavat positiiviseen kehitysprosessin lopputulokseen. (Ford 1992, s. 66-70.)

Ford (1992) näkee motivaation osittain sellaisena, jossa kohde houkuttelee ihmisiä toimimaan. Toisin kuin Maslowin tarvehierarkiassa, motivaatio johtuu pääosin biologiasta, jossa tarve vaatii ihmisiä toimimaan. Ford (1992) ei usko, että motivaatio on vain biologista. Fordin (1992) näkemykset tukevat Nummenmaan esittämiä teorioita sekä Normannin teoriaa suorittamisen vaiheista (Kuva 2.2 Suorittamisen vaiheet). (Ford 1992, s. 66-70.)

MST voidaan kirjoittaa kaavamuotoon, kun sitä käsitellään laajasti. Saavutukset ovat riippuvaisia motivaatiosta, taidoista, biologiasta ja ympäristöstä. Seuraavat kaksi kaavaa esitellään vain havainnollistamaan rakennetta, eikä niiden pohjalta lasketa tämän työn puitteissa tuloksia.

$$\text{Saavutus} = \frac{\text{Motivaatio} \times \text{Taidot}}{\text{Biologia}} \times \text{Ympäristö} \quad (1)$$

Kaavan 1 mukaan saavutusten täyttäminen, eli tehokas toiminta, vaatii motivoituneen ja taitoa omaavan henkilön, jonka biologiset kyvyt riittävän materiaalin ja resurssit omaavan ympäristön kanssa mahdollistavat tavoitteiden saavuttamisen. Jos jokin näistä puuttuu tai ei täytä tarvittavaa tasoa, saavutukset jäävät vajaiksi. (Ford 1992, s. 66-70.)

Motivaation arvioiminen voidaan jakaa vielä useampaan osaan. Motivaatio ilmiönä on psykologinen, tulevaisuussuuntautunut ja arvioiva. Motivaatio näiden pohjalta jaetaan henkilökohtaisiin tavoitteisiin, tunteisiin ja henkilökohtaisesti vaikuttaviin uskomuksiin. Motivaatio voidaan näiden muuttujien mukaan koota kaavan 2 mukaiseksi.

$$\text{Motivaatio} = \text{Henkilökohtaiset päämäärät} \\ \times \text{Henkilökohtaiset toimintauskomukset} \times \text{Emootiot} \quad (2)$$

Vaikka kaavassa 2 muuttujat ovat erillisiä, ne ovat toisistaan riippuvaisia. Tämän vuoksi motivaatiota pitää tarkastella näiden muuttujien yhteisvaikutuksen kautta. (Ford 1992, s. 78-79.) Motivaation yksittäiset muuttujat esitellään alla olevissa kappaleissa tarkemmin.

### **Henkilökohtaiset päämäärät**

Henkilökohtaiset päämäärät (personal goals), tavoitteet, ovat ajatuksia halutuista tiloista tai tuloksista, joita halutaan saavuttaa. Tavoite voi olla myös ajatus jonkin epämiellyttä-

vän tilan tai tuloksen välttämistä. Tavoitteet edustavat mitä halutaan saavuttaa ja ne ohjaavat muita toimia siihen suuntaan, että tavoitteet voi toteutua. Tämän vuoksi tavoitteet ovat iso osa motivaatiota, koska ne määrittävät sisältöä ja suuntaa. Tavoitteiden erottelu yksittäisiksi voi olla vaikeaa, koska ihmisten toiminta muodostuu yleensä monen tavoitteen ohjaamana. Tavoitteet voivat myös vaihdella takaisinkytkennän ja muiden vaikutusten johdosta. Seuraavaa neljää kohtaa voidaan pitää tavoitteiden keskeisimpinä ajatuksina:

1. Tavoitteen merkitys; mitkä tavoitteet ovat mielekkäitä ja tarkoituksenmukaisia nimenomaisessa asiayhteydessä
2. Tavoitteen tärkeys; missä laajuudessa tavoite on henkilölle itselleen tärkeä
3. Tavoitteen saavutettavuus; onko tavoitetta mahdollista saavuttaa ja onko siitä hyötyä
4. Tunneperäinen tärkeys; toimista ja tavoitteista saatu tunnekokemus

Motivaation kasvattaminen haastavissa, stressaavissa tai suuritöisissä tehtävissä voidaan saada aikaiseksi jakamalla tehtävä pienempiin päämääriin ja keskittämällä yksilön huomio näiden päämäärien saavuttamiseen, jotka ovat selkeästi yksilön kykyjen ja ympäristön tarjoamien rajojen sisällä. Tämä on yksi MST:n yksi pääperiaatteista. On kuitenkin huomattava, että päämäärien jakaminen ei ole itsetarkoitus. Hyvin saavutettavaa etäistäkin päämäärää ei ole tarve pilkkoa osapäämääriin. Motivoivimmat toiminnot ja kokemukset ovat niitä, jotka sisältävät monen erilaisen päämäärän samanaikaista tavoittelua ja saavuttamista. Usean päämäärän samanaikainen tavoittelu luo kasvavat mahdollisuudet onnistua tehtävässä, joka vaatii sitoutuneisuutta ja vaivannäköä vaativaa suorittamista. (Ford 1992.)

Henkilökohtaisen tavoitteen asettelu ei toimi jyrkkään tai käskävään sävyyn. Päätös ryhtyä tavoitteen toteuttamiseen syntyy prosessien, tavoitteen, henkilökohtaisten toimintauskomusten ja tunteiden arvioinnin kautta. Kun päätös sitoutua tavoitteen toteuttamiseen on tehty, näyttää pääpainotus siirtyvän motivaatiossa tunteisiin ja henkilökohtaisiin toimintauskomuksiin. (Ford 1992.)

### **Henkilökohtaiset toimintauskomukset**

Henkilökohtaiset toimintauskomukset (personal agency beliefs) ovat arvioivia ajatuksia, joissa on mukana vertailu halutun seurauksen ja ennakoitun seurauksen välillä (esim. mitä henkilö olettaa tapahtuvan, jos saavuttaa tavoitteen). Näin ollen uskomuksilla ei ole tarkoitusta tai käytännön merkitystä, jos tavoite on sellainen mitä ei tavoitella tai sillä ei ole henkilökohtaista merkitystä. Tavoitteen pitää olla merkityksellinen, jotta uskomukset olisivat osatekijöinä motivaatiossa. (Ford 1992.)

Vaikka omaisi ulkokohtaiset taidot ja olosuhteet olisivat suotuisat mielessä olevan päämäärän tavoittelemiseen, ei se ole riittävää. Ihmisten on myös uskottava kykyihinsä ja mahdollisuuksiinsa. Uskomukset ovat usein olennaisempia luomaan mahdollisuuksia ja omaksumaan uusia kykyjä kuin todelliset taidot ja ympäristö. Positiivinen uskomus ei kuitenkaan ole riittävä halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Pohjim-



miltaan ihmisillä täytyy olla taitoa ja myöntämielinen ympäristö lopputuloksen saavuttamiseksi. (Ford 1992.)

Henkilökohtaiset toimintauskomukset ovat jakautuneet kahteen tyyppiin; kyky- ja kontekstiuskomuksiin. Henkilö arvioi oletetun kykyuskomuksensa (capability beliefs) sen mukaan, onko hänellä henkilökohtaisia taitoja tehtävän tehokkaaseen suorittamiseen. Arviointi voi tapahtua esimerkiksi seuraavien kysymysten kautta: ”Olenko kykenevä saavuttamaan tämän päämäärän?” tai ”Omaanko sen mitä tämän tehtävän suorittaminen vaatii?”. Kyvykkyyden arviointi vaihtelee tilanteiden ja päämäärän mukaan. (Ford 1992.)

Kontekstiuskomukset ovat arvioita sitä, onko ympäristö vastaanottavainen ja tukeeko se tehtävän suorittamista. Seuraavien kysymysten kautta voidaan arvioida ympäristön tukea: ”Onko ympäristöllä mahdollisuus tukea tämän tehtävän suorittamista?”, ”Tekeekö ympäristö tehtävän saavuttamisesta helpompaa vai vaikeampaa?” tai ”Voinko luottaa siihen, että ympäristö tukee tai on yhteistyöhaluinen siinä mitä yritän tehdä?”. Jos ihminen aistii kontekstinsa epäluotettavaksi tai yhteistyöhaluttomaksi, motivaatio laskee. (Ford 1992.)

Ympäristölle asetetaan monia arviointikriteereitä. Ympäristön tulee olla yhdenmukainen henkilökohtaisten päämäärien kanssa. Tarkoittaen, että ympäristön tulee antaa puitteet henkilökohtaisesti arvokkaiden asioiden saavuttamiseen. Ympäristö ei saa olla kuitenkaan liian määräävä tavoitteiden laajuuden määrittelyssä. Motivaatio yleensä laskee, jos ihmisillä ei ole valinnanvaraa, mitä päämääriä he tavoittelevat ja millä tavalla. Tästä johtuen henkilökohtainen sitoutuminen vähenee ja koettu ”omistusoikeuden” puuttuminen ovat tekijöitä, jotka laskevat motivaatiota. Liian vaativat kontekstit päämäärän vaatimusten suhteen ajan, ponnistelujen, vaikeuden tai päämäärän saavuttamisen esteiden näkökulmasta voivat aiheuttaa torjuntaa. (Ford 1992.)

Ihmisen biologiset, toiminnalliset ja kognitiiviset kyvyt ovat myös oltava tuettuina ympäristössä. Ympäristö ei saa olla esimerkiksi niin pimeä, meluinen tai fyysisesti turvaton, jotta se ei mahdollista tavoitteiden toteuttamista. Torjuva ympäristö ei tarjoa tietoa päämääristä, normeista, säännöistä, menettelytavoista tai mahdollisuuksista selkeästi, johdonmukaisesti tai tarkoituksenmukaisesti. Neuvonta, ohjaus ja opetus ovat esimerkkejä aineellisista ja tiedollisista mahdollisuuksista, joita tarvitaan helpottamaan päämäärän saavuttamista. Inhimillisyys, sosiaalinen tuki ja luottamus ovat osa ympäristön tarjoamaa tunneilmapiiriä, joka tukee ja helpottaa tehokasta toimintaa. (Ford 1992.)

### **Emootiot**

MST:ssä emootiot, tunteet (emotional arousal processes), ovat yksi osatekijä motivaatiossa. Tunteet ovat useiden prosessien monimutkaisesti järjestettyjä malleja. Tunteet auttavat ihmistä toimimaan muuttuvissa olosuhteissa antamalla arvioivaa tietoa vuorovaikutuksesta ympäristön kanssa. Tukeminen ja helpottaminen ovat tunteiden energisoivaa toimintaa päämäärän saavuttamiseen tarvittaville toimille. (Ford 1992.) Subjektiivinen tunnekokemus ilmentää ihmisen kokemaa menestystä, epäonnistumista, ongel-

mien astetta tai sen hetkisten päämäärien tavoittelun kokemista. Tunnekokemuksilla on hyvin vähän merkitystä, jos niitä ei ole ohjattu ja sidottu päämäärään. (Ford 1992.)

Vaikka tunteet eivät anna suoraan tietoa siitä, mitä ihminen yrittää tavoitella tai välttää, antavat tunteet johtolankoja päämäärien sisällöstä vaikuttamalla tapahtumien tulkintaan, valikoivaan huomioon, mieleen palauttamiseen, oppimiseen, päätöksentekoon ja ongelman ratkaisemiseen ennustettavissa olevilla tavoilla. Tunteiden kautta arvioidaan myös sitä, millaiset mahdollisuudet on saavuttaa yhteiset tavoitteet. (Ford 1992.)

Henkilökohtaiset toimintauskomukset ovat käyttökelpoisia isommissa päätöksissä, koska niihin käytetään yleensä enemmän harkintaa ja ne ovat pitkän tähtäimen toimintoja. Tunteet taas sopivat lyhyen tähtäimen säätelyyn ja nopeisiin päätöksiin. Itse asiassa tunteet auttavat ylläpitämään nopeaa ja tehokasta toimintaa tilanteissa, jotka vaativat tehokasta ja nopeaa toimintaa sekä energisyyden ja muutoskykyjen hyväksikäyttöä. Päämäärien ja henkilökohtaisten toimintauskomusten alkuunpanossa ja muodostamisessa tunteet ovat keskeisessä osassa vaikuttamassa. (Ford 1992.)

## 2.7 Asunto psykologisena tilana

Asunto ei ole vain fyysinen paikka tai ympäristö, joka tukee päivittäisiä toimia. Asunto voidaan nähdä myös metatuotteena. Metatuote on summa tulkinnoista ja ideoista, jotka ovat muodostuneet ennakkoluulojen, statuksien, nostalgian ja yhdessä toimimisen sekä muiden vastaavien kautta. Metatuotteen merkitys on kasvanut merkittävästi, kuten brändien arvon kasvamisesta voidaan havaita. (Redström 2001, s. 10-11.)

Asunnolla on monia psykologisia merkityksiä ihmisille, kuten juurtumisen apu, kiintymisen kohde, haltuun otettava paikka, turvapaikka, yksityisyyden tuki, identiteetin lujittaja ja perhesuhteiden kiinteyttäjä. Asuntoa muokataan minuuden jatkeeksi. Apuna tässä käytetään omia esineitä, huonekaluja ja sisustusratkaisuja. (Aura et al. 1997, s. 60-65.)

Ihminen tarvitsee asuinympäristöltään toisaalta yksityisyyttä, sekä toisaalta yhteisyyttä. Yksityisyydellä suojellaan oman minuuden rajoja ja kontrolloidaan suhdetta muihin. Yksityisyys saavutetaan vetäytymällä asuntoon. Asunnossa voidaan yksityisyyttä säädellä vetäytymällä omaan tilaan esimerkiksi omaan huoneeseen. Yleisemmin ilmaistuna yksityisyys saavutetaan henkilökohtaisen tilan ja territorion puolustamisella. Yhteisyys toteutuu julkisissa tiloissa ja asuinyhteisöissä. (Aura et al. 1997, s. 135-150.)

Yksityisyyttä tarvitaan säätelemään suhdetta muihin sekä jäsentelemään kokemuksiaan. Yksityisyyttä hyödynnetään myös suojautumalla ulkopuolisilta stressiteijöiltä. Yksityisyys voidaan nähdä myös useamman henkilön eristäytymisenä. Kahden ihmisen tai perheen vetäytymisellä yksityisyyteen halutaan estää ulkopuolisten tunkeutuminen ryhmän yhteiselle alueelle. Haluttu yksityisyyden taso vaihtelee tilanteittain. Tahtomattaan syntyvä liiallinen yksityisyys saatetaan kokea yksinäisyytenä. Jos riittävä yksinäisyyttä ei tavoiteta, saatetaan kokea ahtautta. (Aura et al. 1997, s. 135-150.)

### 3 PALAUTTEEN VAIKUTUS ASUMISEN ENERGIANKULUTUKSEEN

Energiankulutus on suurimman osan ajasta näkymätöntä asukkaalle. Kerrostaloasunnoissa kerran vuodessa saatava sähkölasku ei anna juuri mahdollisuuksia nähdä omien toimien vaikutusta energiankulutukseen. Lämpöenergian kulutusta mitataan usein kerrostaloissa vain talokohtaisesti, jolloin on mahdotonta mitata oman käyttäytymisen vaikutusta lämmitysenergian tarpeeseen. Monilla on vain vähän käsitystä siitä paljonko he käyttävät energiaa ja millä tavalla käyttö jakautuu eri kohteiden välillä. Käyttäytymisen muuttaminen energiaa säästävämmäksi on tämän vuoksi vaikeaa.

Palaute energian käytöstä on välttämätön, jotta asukkaat voivat tiedostaa toimionsa vaikutuksen ja sitä kautta ohjata omaa käyttäytymistään. Palautetta voidaan antaa monilla tavoin. Palautteiden tehokkuus ja tarkoituksenmukaisuus vaihtelee monen muuttujan suhteen. Laitteiden käyttöliittymät ja ominaisuudet vaikuttavat saatavan palautteen tehokkuuteen ja mielekkyyteen.

Tässä luvussa käsiteltävä aineisto on saatu pääosin sähkön- ja kaasunkulutusta koskevista tutkimuksista. Lämpöenergia ja veden kulutus voidaan ajatella asukkaan kannalta yhtäläiseksi sähköenergian käytön kanssa palautteen ja käyttöliittymien osalta. Tutkimustulokset vaihtelevat sen mukaan mitä tekniikka niissä on käytetty, kulttuurilisten ja taustojen erojen mukaan sekä tarkkailtavan muuttujan suhteen. Yhdenmukaista tutkimuksissa on kuitenkin yksilöllisen palautteen tarpeellisuus, joka mahdollistaa tehokkaamman energian käytön.

#### 3.1 Palautteen eri muodot

Suoralla palautteella tarkoitetaan tässä tapauksessa mittarista luettavaa mittaustulosta. Mittarissa olevan näytön tulee tarjota helposti ymmärrettävä mittaustulos käyttäjälle, joka on verrattavissa esimerkiksi sähkölaskuun. Mittarin täytyy olla helposti saavutettavissa, jotta normaali energiansäästöpotentiaali 5-15 % saavutetaan. Jos mittari on sijoitettu hankalaan paikkaan käyttäjän kannalta, mittarin näyttö tulee sijoittaa käyttäjäystävälliseen paikkaan. (Houwelingen & Raaij 1989; Darby 2006; Mountain 2006.)

Epäsuora palaute on koostettu mittaustuloksista, jotka on käsitelty jollain tavalla ennen käyttäjälle esittämistä. Mittaustuloksen ja käyttäjälle esitettävän tuloksen välillä saattaa olla pitkäkin aika. Epäsuora palaute on yleensä tehokkaampi indikoimaan suurempien kulutuskohteiden pitkäaikaista muutosta kuin suora palaute. Sijoitukset talon eristykseen tai paljon energiaa kuluttavien laitteiden uusiminen näkyy paremmin pidemmän aikavälin tarkastelussa kuin suorasta palautteesta. Epäsuorassa palautteessa

historiatietoihin vertaaminen on osoittautunut tehokkaammaksi tavaksi kuin vertaaminen tavoitearvoon tai muihin vastaaviin talouksiin. Riippuen asiayhteydestä ja informaation laadusta säästöpotentiaali vaihtelee 0-10 % välillä. (Darby 2006.)

Kirjallisen materiaalin, kuten esitteiden lähettäminen ja yleisten ohjeiden jakamisella ei ole juurikaan vaikutusta sähkönkulutukseen. Myöskään pelkällä mahdollisuudella seurata omaa kulutustaan ei ole merkittävää vaikutusta, jos siihen ei liitetä ohjeistusta. (Darby 2006.)

Kulutustottumukset muuttuvat huomattavasti, jos saadaan ohjeistusta ja neuvontaa suoraan omaan toimintaan omassa ympäristössä. Henkilökohtaisen neuvonnan jälkeen teknisten laitteiden asentamisella saadaan vielä vähennettyä kulutusta. Ihmiset haluavat saada räätälöityä tietoa kulutuksestaan. (Brandon & Lewis 1999; Gudbjerg & Gram-Hanssen 2006.)

### 3.2 Mittari palautteen lähteenä

Sähkömittarin lukeman katsominen mittarista on yksinkertainen tapa hankkia suoraa palautetta. Mittarin tarkkailusta saaduista lukemista voi pitää kirjaa ja vertailla arvoja laskuun sekä historiatietoihin. Tällainen tapa vaatii kuitenkin paljon sitoutuneisuutta, paneutumista ja huolellisuutta. Usein sähkömittari ei ole näkyvillä, jolloin sen lukeminen vaatii vaivaa tai sähkömittari on jopa saavuttamattomissa. Asukkaiden energiatietoisuudella ja halukkuudella hankkia energiatehokkuuteen vaikuttavia laitteita on havaittu olevan yhteys mittarilukeman suhteelliseen säännölliseen tarkastamiseen. (Darby 2006.)

Vaikka mittarin lukeminen vaatii sitoutuneisuutta, useamman tutkimuksen mukaan se on myös tehokas keino vähentää energiankulutusta yhdessä seurannan ja neuvonnan kanssa. Potentiaaliset säästöt ovat noin 10-20 % luokkaa. (Darby 2006.)

Lisänäytön yhdistäminen mittariin helpottaa palautteen saamista, sillä näyttö voidaan sijoittaa helposti nähtävälle ja saavutettavalle paikalle. Melkein kaikki kulutusta esittävät näytöt, vaikka niissä olisi vain edellisen päivän kulutusta vertailtu sään mukaan vaihtuvaan tavoitteeseen, tuottivat noin 10 % säästön energiankulutuksesta. (Mountain 2006.)

Useat valmistajat tekevät erillisiä näyttöjä sähkömittareihin. Myös sähköyhtiöt tarjoavat omia erillisiä näyttöjä sähkömittareihin. Näytöt ovat tarkoitettu sijoitettaviksi helposti saataville ja osa näytöistä on kannettavia. Näytöistä saadaan monenlaista tietoa kulutuksesta, kuten historiatietoa, päiväkohtaista kulutusta, ennustetta vuoden kulutuksesta ja paljonko tähän asti käytetty sähkö maksaa.

Darbyn (2006) mukaan käyttäjäystävällisyys on tärkeässä osassa toimivaa palautetta. Älykkäiden mittareiden näytöistä tulisi selvittää vähintään hetkellinen kulutus, kustannukset ja historiatiedot. Lisäarvoa toisivat tariffien ja hiilidioksidipäästöjen esittäminen, joiden tulee olla linkitetty energian tuotantotapaan vertailukelpoisen tuloksen saamiseksi.

Reaaliaikaisen sähkönkulutuksen hinnan näyttävät pay-as-you-go-mittarit mahdollistavat tiedonsiirron hinnanmuutoksista ja latauksista. Mittareihin ladataan saldoa ostamalla myymälästä latauskortti, josta koodi syötetään mittariin. Käyttäjän on jossain määrin pakko seurata sähkönkulutustaan, kun käytössä on tällainen mittari. Näillä mittareilla saatu energiansäästö vaihtelee runsaasti. Vertailukohtana käytetään perinteistä laskutusmallia. Pohjois-Irlannissa säästöjä saatiin keskimäärin 3 %, kun Ontariossa samalla periaatteella toimivan mittarin kanssa asiakkaat käyttivät 15-20 % vähemmän energiaa. Osittain eroja voidaan selittää johtuvaksi erilaisesta mittarin näytöstä. (Darby 2006; Owen & Ward 2006.)

Syitä eroihin voidaan hakea myös tarkastelemalla laitteiden käytettävyyttä (luku 2.5), motivaatiosta (luku 2.6) ja kuinka tärkeänä ihmiset pitävät energiankulutusta ja miten se heijastuu psykologiseen merkitykseen (luku 2.7). Myös mitattavien kohteiden määrän kasvaessa alkaa mittaustulosten seuraaminen olla työlästä, koska jokainen kohde tarvitsee oman näyttönsä. Tämä saattaa vaatia liikaa sitoutuneisuutta, jolloin seuranta ei onnistu enää pienellä vaivalla.

### 3.3 Tiedottava laskutus

Palaute laskun muodossa tulee usein pitkän ajan kuluttua ja sen yhdistäminen energian kulutusta aiheuttaviin tekijöihin on hankalaa. Tämän vuoksi lasku harvoin sisältää arvokasta tietoa. Laskussa esitettäviä tietoja voidaan muuttaa antamaan parempaa palautetta kulutuksesta pitkällä aikavälillä. Sähkölämmityksen kulutuksen jakaantuminen vuoden ajalle sisältää monille uutta tietoa. Edellisen vuoden tietoihin vertaileminen voi antaa tietoa, miten investointi eristykseen tai asukkaan muuttaminen taloon tai talosta pois vaikuttaa energiantarpeeseen. Lasku voi myös sisältää vertailua samantapaisiin asuntoihin ja arviota siitä, miten kulutus on jakautunut eri laitteiden välille.

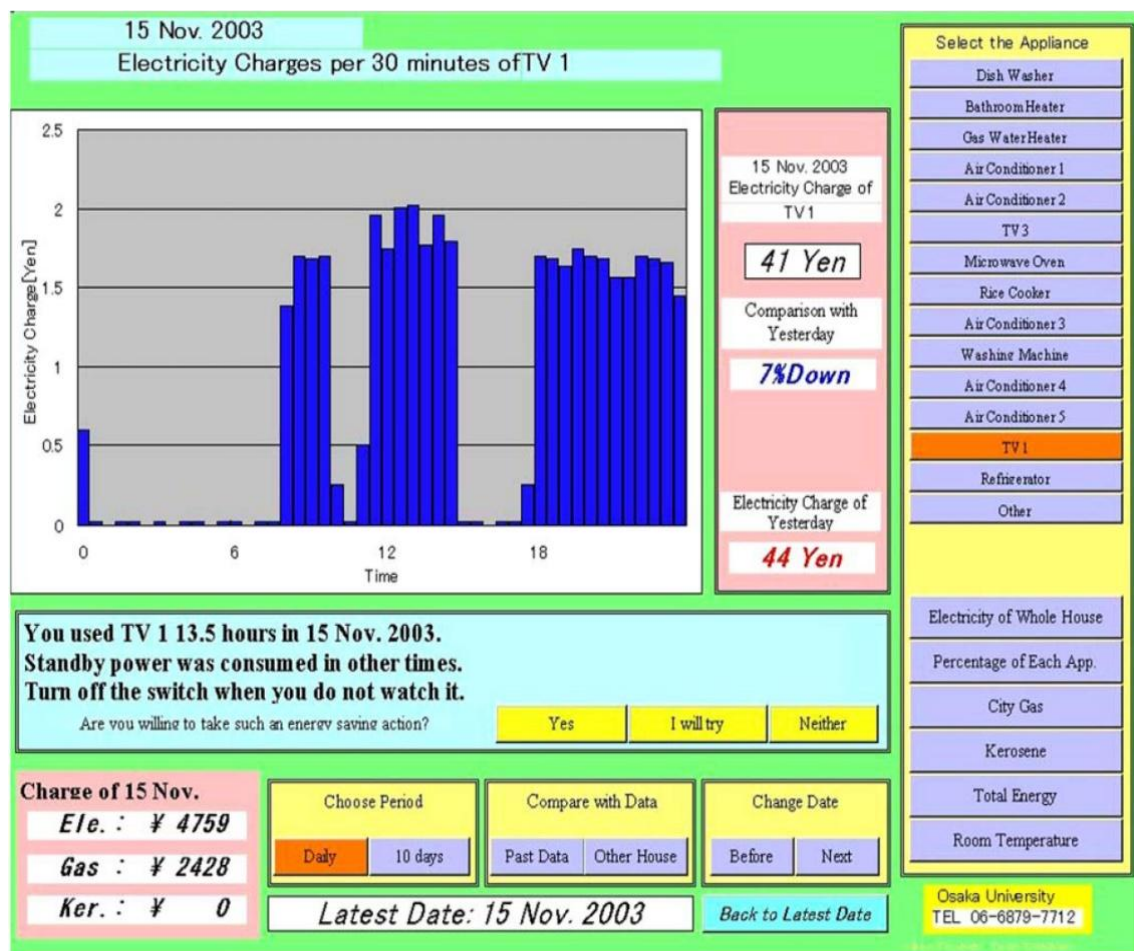
Norjassa on käytetty tiedottavaa laskutusta menestyksekkäästi. Kahden kuukauden välein mittarilukemaan perustuvan laskun on raportoitu antavan noin 10 % säästöt. Aiempi laskutus tapahtui neljä kertaa vuodessa, joita kolme oli arviolaskuja. Säästöt nousivat 12 %:iin, kun laskuihin lisättiin vertailutietoja aiemmalta vuodelta. Laskujen mukana olleilla energiansäästövinkeillä ei havaittu olevan säästövaikutuksia. (Wilhite & Ling 1994.)

Laskutuksen muutoksessa tehokkaimmaksi yksittäiseksi kohdaksi havaittiin neljännesvuosittain tulevasta arviolaskusta siirtyminen joka toinen kuukausi saatavaan mittarilukemaan pohjautuvaan laskuun. Tästä Wilhite & Ling (1994) päättelivät palautteen aiheuttavan tiedon ja valveutuneisuuden kasvua. Tiedon ja valveutuneisuuden lisääntyessä muuttuvat myös energian käyttöön liittyvää käyttäytymistä, joka puolestaan johtaa energiankulutuksen vähenemiseen. (Wilhite & Ling 1994.)

### 3.4 Internet-pohjainen palaute

Japanissa tutkittiin Internet-pohjaista interaktiivista järjestelmää, joka tarjoaa asukkaille tietoa heidän omakotitalonsa energiankulutuksesta. Järjestelmä on nimeltään ECOIS II (Energy Consumption Information System), joka on jatkoa aiemmasta ECOIS I- järjestelmästä. ECOIS II mittauskohteina olivat koko talon sähkön- ja kaasunkulutus sekä huoneiden lämpötilat. Projektin tarkoituksena oli motivoida asukkaita energiaa säästäviin toimiin. (Ueno et al. 2006.)

Kehittyneempi ECOIS II tarjoaa mittaustulokset koko talon osalta sekä yksittäisistä sähkölaitteista ja lämpötilasta. Sähkönkulutusta voitiin seurata 18 eri laitteesta erikseen. Kuvassa 3.1 on asukkaalle esitettävä ECOIS II käyttöliittymänäkymä. Kuvan tekstit on käännetty englanniksi.



Kuva 3.1. ECOIS II käyttöliittymänäkymä (Ueno et al. 2006).

Sähkön- ja kaasunkulutus esitetään asukkaalle rahamääränä, joka kyseisestä kulutuksesta pitää maksaa. Mittaustuloksen esittäminen rahamääränä antaa asukkaalle helposti ymmärrettävän tavan tulkita energiankulutusta. Kulutuskohteen graafisen mittaustuloksen esityksen alla on kyseiseen kohteeseen liittyvä energiansäästövihje. Vihje on muodostettu kohteen mittaustuloksen perusteella. Jokaiseen vihjeeseen voi vastata sen mukaan aikooko suorittaa vihjeen neuvoja. Vastaus tapahtuu painamalla yhtä kolmesta

nappulasta, joiden vaihtoehdot ovat: Kyllä, Kokeilen tai Ei kumpikaan. Vihjeiden tarkoitus on kerätä tietoa asukkaan käytöksestä. (Ueno et al. 2006.)

Tutkimukseen valitut taloudet jaettiin kahteen ryhmään, joista ryhmän A mittausjakso oli kaksiosainen. Ensimmäisessä osassa mittausjaksoa ryhmälle asennettiin mittauslaitteet, mutta mittauksia ei esitetty talouksille. Tällä selvitettiin talouksien peruskulutusta. Toisella mittausjaksolla ryhmä A sai palautetta kulutuksestaan. Ryhmä B oli vertailuryhmä, jolle asennettiin mittauslaitteet, mutta mittaustuloksia ei esitetty. Tutkimukseen osallistui 19 taloutta, joiden perhekoko ja talojen fyysisten rakenne oli ryhmäkohtaisesti hyvin samankaltainen. Talouksille lähetettiin kysely, jossa kartoitettiin onko talouteen tullut muutoksia, jotka vaikuttaisivat mittaustuloksiin. Kyselyssä tarkistettiin esimerkiksi asukkaiden lukumäärän muutoksia, kuten onko joku talouden jäsenistä esimerkiksi työmatkalla tai joutunut sairaalahoitoon, myös käytössä olevien huoneiden lukumäärä selvitettiin. (Ueno et al. 2006.)

Vanhemman järjestelmän, ECOIS I, tuloksista raportoitiin noin 9 % energiansäästöt. Mittaustuloksista näytettiin asukkaalle vain sähkönkulutus. ECOIS II tutkimuksesta raportoitiin ryhmälle A sähköenergiankulutuksen eroksi ensimmäisen ja toisen mittausjakson välille 18 % lasku ja kaasunkulutukseen 9 % lasku. Toisaalta vertailuryhmän B sähköenergiankulutus laski mittausjakson aikana 5 % ja kaasunkulutus nousi 0,4 %. Vertailuryhmän kulutus sekä ulkolämpötilan nousu mittausjaksojen välillä huomioiden voidaan päätellä, että järjestelmällä oli vaikutusta energiankulutukseen laskevasti. Arvio energiankulutuksen laskusta ryhmällä A oli alle 12 %. (Ueno et al. 2006.)

Mittausjakson aikana talouksien mielenkiinto seurata omaa kulutustaan vaihteli runsaasti. Alussa seuranta oli luonnollisesti suurta, mutta aktiivisuus laski nopeasti ja lopulta tasaantui. Osa talouksista jätti seuraamisen kokonaan ennen mittausjakson loppua. Talouksien, joiden aktiivisuus järjestelmän käyttämisessä oli suuri, energiankulutus ei laskenut merkittävästi. Vastaavasti niiden talouksien energiankulutus laski rajusti, joiden aktiivisuus oli vähäisempää. Kuitenkaan selvää riippuvuutta aktiivisuuden ja energiansäästön välille ei voitu muodostaa. (Ueno et al. 2006.)

Monet taloudet kokivat vertailun muihin talouksiin mielenkiintoisena, koska tämä loi kilpailuhenkeä. Vertailu historiatietoon oli myös suosittua. Enemmän mielenkiintoa herättivät kokonaiskulutukset kuin yksittäisten laitteiden kulutukset. (Ueno et al. 2006.)

Vaikka taloudet oli pyritty valitsemaan suhteellisen lähelle toisiaan ulkoisten tekijöiden osalta, oli erot silti huomattavia yksittäisiä talouksia verrattaessa; Lapsien määrä vaihteli yhdestä kolmeen, rakennusten pinta-alat olivat noin 100 m<sup>2</sup> ja 220 m<sup>2</sup> välillä. Keskiarvoisesti vertailuryhmän taloudet olivat lähellä toisiaan. Tutkimuksessa talouksien määrä oli vähäinen, lisäksi taloudet sijaitsivat samalla alueella, uudehkolla asuinalueella. Näiden vuoksi tutkimus ei anna yleistettävissä olevaa tulosta mittausten arvojen osalta, mutta tuloksista voidaan havaita pääpiirteet energiankulutuksen muutoksen osalta.

### 3.5 Palautteen vaikutus käyttäytymiseen

Historiallista energian kulutusta pystytään ennustamaan tulotasolla ja väestötieteellisillä ominaisuuksilla, mutta ei kulutustottumuksien muutoksia. Merkittävimpiä tekijöitä muutoksiin ovat asenteet ympäristöä kohtaan ja palautteen saaminen. Kuluttajat, jotka ajattelevat olevansa ympäristövalveutuneita, mutta jotka eivät omaa aiempaa kokemusta energiansäästötoimenpiteistä, ovat todennäköisimpiä energian kulutuksen vähentäjiä saadessaan palautetta energiankulutuksestaan. (Brandon & Lewis 1999; Nissinen et al. 2008.)

Houwelingen & Raaij (1989) tekivät tutkimuksen tavoitteiden asettamisen ja päivittäisen palautteen vaikutuksesta energiankäyttöön. Mitä kauemmin tiedottava laskus kestää ja mitä enemmän tietoa kuluttajille tarjotaan, sitä pysyvämmäksi vaikutukset tulevat. Säännöllinen muistutus kulutuksesta voi auttaa vähentämään energiankäyttöä jatkuvasti. Vastaavasti energiankulutus lähtee nousemaan, kun kulutusta esittävä laite otetaan pois käytöstä. (Houwelingen & Raaij 1989; Darby 2006.)

Myös Henryson et al. (1999) ovat tutkineet palautteen vaikutusta käyttäytymiseen. Tiedon lisääntyminen kuluttajien keskuudessa motivoi olemaan energiatehokkaampia. Yksittäistä selkeää asiaa ei pystytä mainitsemaan, joka johtaisi energian kulutuksen vähenemiseen. Sijoitukset energiatehokkaisiin ratkaisuihin kestävät pitkään, mutta ihmisten käyttäytyminen voi muuttua radikaalisti pienelläkin aikavälillä. Tutkimustulokset vaihtelevat runsaasti käyttäytymisen pysyvyyden osalta. Joidenkin tutkimusten mukaan vaikutus heikkenee jo viikon kuluessa, kun taas toisessa tapauksessa vaikutukset kestävät pitkään. Palautteen keston ja käyttäytymisen pysyvyyden välillä on kuitenkin selkeä yhteys. Mitä pidempään palautetta on saatavilla sitä pysyvämpi vaikutus sillä on käyttäytymiseen. (Henryson et al. 1999.) On arvioitu, että käyttäytymisen muutoksesta tulee jokapäiväistä, jos palautetta on saataville kolme kuukautta tai yli. (Darby 2006.)

Roberts & Baker (2004) ovat tehneet tutkimuksista saaduista tuloksista analyysin ja listanneet hyvän palautteen ominaisuuksia sekä ihmisten suhtautumista palautteeseen.

- Palaute on tehokkainta, kun se on välitöntä, silmiinpistävää, helposti saatavilla ja kuluttajakohtaista.
- Historiatietoihin vertailu on tärkeää, jotta käyttäjät pystyvät omaksumaan palautteen ja reagoimaan siihen.
- Graafisesti esitetty vertailu muihin vastaaviin käyttäjiin lisää motivaatiota energian kulutustottumusten muuttamiseen.
- Palautteen antamisen tapaan ja muotoon on kiinnitetty liian vähän huomiota kirjallisuudessa.
- Käyttäjien osallistuminen palautteen suunnitteluun johtaa tehokkaampaan palautteeseen ja lisää todennäköisyyttä luoda sellainen esitystapa, joka kohtaa käyttäjien mieltymykset vastaanottaa ja omaksua tietoa.



- Laskun mukana saatava hyvin suunniteltu kulutus palaute on myös tehokas keino vähentää kulutusta.

Talouksia saattaa kiinnostaa vertailu muiden talouksien kanssa. Vertailussa muihin talouksiin on kuitenkin ongelmansa. Vertailukohteen löytäminen on hankalaa, koska muuttujia on paljon. Taustatiedoiltaan yhteneväisten kohteiden ryhmittely voidaan muodostaa monella tapaa ja tietojen hankkiminen ei aina onnistu kohtuullisella vaivalla. Taustatietoina voidaan esimerkiksi käyttää seuraavia:

- Asunnon lämmitystapa, lisälämmitys, kosteiden tilojen lämmitys
- Rakennuksen ominaisuudet: rakennusvuosi, korjaukset, pinta-ala, tilavuus, kerrosluku, runkomateriaali, eristykset
- Tekniset ratkaisut: ilmanvaihto, valaistus, jäähdytys
- Aukkaat: ikä, asunnon käyttöaste, harrastukset
- Laitteistot asunnossa: kylmälaitteet, viihde-elektroniikka
- Aukkaiden toimet ja käyttäytyminen: pyykinpesu, ruuanlaitto, autonlämmitys

Kaikilla rakenteellisilla ja teknisillä ratkaisilla sekä asukkaan käyttäytymisellä on vaikutusta energian kulutukseen, vaikka eräät niistä muodostavat vain pienen osan.

Taustatiedoiltaan lähes yhtenäisten kohteiden muodostaminen ei vielä takaa onnistunutta lopputulosta energian säättöä ajatellen. Kyselyssä yli 70 % vastanneista sanoi, että he ryhtyisivät toimeen, jos he havaitsisivat kuuluvansa ryhmän viidesosaan, joka kuluttaa eniten energiaa. Kyselyssä ei selvitetty todellisia toteutumia. (Iyer et al. 2005.) Huomioitavaa on sijoittuminen paljon kuluttavassa ryhmässä vähiten kuluttaviin. Tällöin tarvetta energiansäästöön vertailun mukaan ei ole, vaikka todellinen kulutus olisi suuri. Vastaavasti vertailu saattaa aiheuttaa turhautumisen, jos havaitaan olevan koko ajan eniten kuluttava ryhmässä. Energian kulutuksen laskeminen saatetaan nähdä liian vaikeana, jolloin motivaatio laskee (luku 2.7).

## 4 KÄYTTÖLIITTYMIEN KÄYTTÄJÄKESKEINEN SUUNNITTELU

Tässä luvussa yhdistetään lukujen 2 ja 3 tulokset, sekä selvitetään, miten ne liittyvät käyttöliittymän suunnittelun perusasioihin. Esitetyt asiat antavat kuvan ihmisen tavoista hahmottaa käyttöliittymän toiminta ja miten näitä tulisi hyödyntää käyttöliittymää suunniteltaessa.

### 4.1 Tiedon jakautuminen muistiin ja maailmaan

Toimiakseen ihminen tarvitsee paljon tietoa. Koska kaikki toiminta ei vaadi muistiin tallennettua tarkkaa tietoa, osa tiedosta on jakaantunut ihmisen muistiin, osittain ympäröivään maailmaan ja osittain tilanteen pakottamaan toimintamalliin.

Toiminta riippuu muistissa olevan tiedon ja ympäristöstä saatavan tiedon kombinaatiosta. Koska ihminen tietää osan tiedosta olevan ympäristössä, kaikkea tietoa ei tarvitse tallentaa muistiin saavuttaakseen kuitenkin halutun laadun toiminnassaan. Tämän vuoksi ihmisen on mahdollista toimia ympäristössä ja silti hän ei tarkkaan pysty kuvaamaan mitä teki. Henkilö voi kävellä kaupungin läpi sujuvasti, mutta silti hän ei pysty kuvailemaan reittiä tarkasti. Harjaantunut tietokoneella kirjoittava henkilö pystyy kirjoittamaan katsomatta näppäimistöä. Kirjainten tarkan paikan kuvaaminen näppäimistöllä on tällaiselle henkilölle kuitenkin hankalaa. (Norman 1998, s. 56.)

### 4.2 Muistin rakenne

Ihmisen muistia voidaan tarkastella näkökulmasta, jossa muisti on jaettu kahteen eri tyyppiin: pitkä- ja lyhytkestoiseen muistiin. Pitkäkestoista muistia käytetään menneiden asioiden muisteluun. Pitkäkestoiseen muistiin tallentaminen ja sieltä asioiden palauttaminen vaatii aikaa. Tässä muistityypissä säilytetään kokemuksia, ei tarkkoja tallennuksia tapahtumista, vaan tulkitaan ymmärryksemme mukaan niitä siten, miten kokemuksemme ja tietomme ovat muovanneet käsitystämme elämän aikana. Se miten tarkasti pitkäkestoisesta muistista saadaan tapahtuma luettua, riippuu siitä miten hyvin se on sinne alkujaan varastoitu. (Norman 1998)

Kapasiteetti ei ole rajoittava tekijä vaan tapahtumien muistamiseen vaikuttaa enemmän tapa, jolla tapahtumia varastoidaan muistiin. Useampi toisto auttaa varastoitmaan tapahtuman varmemmin. Tapahtumien organisointi vaikuttaa kykyyn muistaa asioita. Varastointi ja lukeminen ovat helpompia, kun materiaali on ymmärrettävää ja se

voidaan linkittää aiempiin tietoihin. (Norman 1998, s. 66-67.) Opastus ja neuvonta uuden laitteen kanssa helpottavat asioiden ymmärtämistä. Tämän kautta uuden laitteen käyttäminen tulee helpommaksi, koska tiedot voidaan tallentaa muistiin ymmärrettävinä kokonaisuuksina.

Lyhytkestoista muistia käytetään tämänhetkisiin tapahtumiin. Tieto tallentuu automaattisesti ja sen noutaminen tapahtuu ilman ponnisteluja. Lyhytkestoiseen muistiin tallennettavan informaation määrä on hyvin rajallinen. Suuruusluokaltaan viidestä seitsemään asiaa tai kymmenkunta numeroa voidaan säilyttää lyhytkestoisessa muistissa. Lyhytkestoinen muisti on korvaamattoman arvokas päivittäisessä toiminnassa, kuten nimien, lauseiden ja tehtävien muistamisessa. Lyhytkestoinen muisti toimii väliaikaisen muistin tavoin. Lyhytkestoinen muisti on altis häiriöille. Pienikin huomion kiinnittymisen toiseen tehtävään voi saada asiat katoamaan muistista. (Norman 1998, s. 66-67.)

Tieto pohjimmiltaan on ihmisen muistiin tallennettuja asioita. Ihmisen tapa käyttää muistiaan voidaan jaotella monella eri tavalla. Kolme merkityksellistä kategoriaa käyttöliittymien osalta ovat seuraavat:

1. Muisti sattumanvaraisille asioille. Sattumanvaraisilta näyttävillä asioilla ei ole merkitystä ja niillä ei ole kytköksiä toisiinsa tai asioihin, joita jo tiedetään.
2. Muisti merkityksellisille yhteyksille. Asiat voidaan noutaa muistista, kun niillä on mielekäs yhteys itseensä tai toisiin ennalta tiedettyihin asioihin.
3. Ymmärrettyjen asioiden muisti. Materiaalia ei tarvitse muistaa tarkasti. Ymmärryksen kautta muistetaan miten jokin toimii.

Muistia sattumanvaraisille asioille käytetään niihin asioihin, joita on helppo muistaa ja joilla ei ole riippuvuutta rakenteesta tai ne eivät vaadi ymmärrystä. Näitä asioita ovat esimerkiksi aakkosten opetteleminen, kengännauhojen solmiminen ja kertolaskutaulujen muistaminen. Ongelmina tässä muistikategoriassa ovat oppimisen vaikeus. Asioiden opetteleminen voi vaatia paljon aikaa. Ongelman ilmetessä mikään ei anna vihjettä siitä, mikä meni vikaan eikä vihjettä siitä mitä voitaisiin tehdä virheen korjaamiseksi. (Norman 1998, s. 67-68.)

Monilla asioilla on merkityksellinen yhteys, joka merkittävästi yksinkertaistaa muistamista. Kun asioilla on merkityksellinen yhteys, voidaan uusia asioita yhdistää aiempaan tietoon. Uusi asia voidaan näin ymmärtää, ilmaista ja liittää aiemmin muistissa oleviin materiaaleihin. Merkityksellinen yhteys voi koota sattumanvaraisilta kuulosuvat asiat yhteen. (Norman 1998, s. 68-69.)

### 4.3 Rajoitukset

Ihminen kohtaa päivittäin monia tilanteita, joissa pitää valita tilanteeseen sopiva toimintatapa. Valintaan vaikuttavat kokemukset vastaavista tilanteista, sekä mitä tietoa kyseiseen tilanteeseen voidaan soveltaa. Esimerkiksi uuden laitteen käyttäminen saattaa sujua ongelmitta, jos vastaavanlaisesta laitteesta on ennestään kokemusta tai tietoa. Toisaalta uusi laite voi olla suunniteltu siten, että sen käyttö sujuu luontevasti, koska vaihtoehtoja

seuraavasta toiminnasta ei ole kuin yksi tai niiden vaikutus on käyttäjälle aivan selvä. (Norman 1998, s. 81-82.)

Vaihtoehtoja voidaan rajata eri tavoilla. Fyysiset rajoitteet rajoittavat mahdollisia toimia; Isoa kappaletta ei saa sovitettua pieneen laatikkoon. Käyttöliittymissä voidaan hyväksyä vain tiettyjen nappien painamiset ja hylätä kaikki muut toiminnot. Fyysisten rajoitteiden vahvuus on niiden ymmärrettävyys. Tietoa tai koulutusta ei vaadita, jotta voi toimia näiden rajoitteiden puitteissa. Jotta fyysinen rajoite palvelisi käyttötarkoitusta, mahdollisuuksien määrä tulee olla rajoitettu vähäiseksi tai haluttujen vaihtoehtojen tulisi olla ilmiselviä sekä keskeisessä osassa. (Norman 1998, s. 84-85.)

Fyysiset rajoitteet ovat sitä tehokkaampia mitä selvemmin ne ovat esillä ja tulkittavissa. Näin toimia voidaan rajoittaa ennen kuin mitään on tehty. Toinen tapa on estää tapahtuman suoritus, jos yritetty toimintapa on virheellinen. Esimerkiksi avaimen sovittaminen lukkoon onnistuu vain, jos molemmat, sekä avain että lukko, ovat pystysuorassa. Avain on mahdollista laittaa lukkoon tällöin kahdessa eri asennossa. Hyvin suunniteltu avain sopii lukkoon molemmissa asennoissa tai tarjoaa selvän merkin kumpi asennoista on oikea. (Norman 1998, s. 84-85.)

Semanttiset rajoitteet perustuvat tilanteessa esiintyvään käyttötarkoituksen ymmärtämiseen, joka vaatii tietoa muistista ja maailmasta. Näiden tietojen avulla voidaan saada ratkaisevat vihjeet halutun tuloksen saavuttamiseksi. Yksinkertaisen koottavan pienoismallin, esimerkiksi auton, kokoamiseen ei välttämättä tarvitse ohjeita. Pyörien ja tuulilasin sijainti osataan päätellä ilman ohjeitakin, koska osien merkitys ymmärretään. (Norman 1998, s. 85.)

Kulttuurilliset rajoitteet muodostuvat yleisistä käytännöistä, jotka ovat hyväksytyt kyseisessä kulttuurissa. Näillä ei ole välttämättä suoranaista yhteyttä fyysisiin tai semanttisiin rajoituksiin. Jos koottava pienoismalli on auto, kulttuurillisten rajoitteiden ohjaamana valot sijoitetaan oikeisiin paikkoihin. Punainen valo on yleisesti tiedetty olevan pysähtymistä tarkoittava merkki, joten valo sijoitetaan taakse. Valkoinen valo mielletään olevan ajovalo, joka sijoitetaan auton eteen. Kulttuurilliset rajoitteet ohjaavat myös käyttäytymistä. Tiedämme miten käyttäytyä ravintolassa, vaikka emme olisi ennen asioineet kyseisessä ravintolassa. Toisaalta ravintolassa, jossa oman kulttuurimme tavat eivät ole hyväksytyjä, tunnemme olomme epämiellyttäväksi. (Norman 1998, s. 85-86.)

#### **4.4 Luonnollinen miellelyhtymä**

Luonnolliset miellelyhtymät tarjoavat mahdollisuuden sekä loogisen että käytännöllisen sijoittelun ja toiminnan välisen suhteen muodostamiselle. Edellä mainitun pienoismallin kokoaminen onnistuu ilman ohjeiden lukemista tiedon ja rajoitteiden johdosta. Jos viimeiselle osalle ei löydetä tiedon ja rajoitteiden pohjalta oikeaa paikkaa, voidaan oikea paikka silti löytää loogisen päättelyn avulla. Ajatellaan pienoismallin olevan poliisiauto, joka on saatu muuten koottua, mutta sininen valo on asettamatta paikalleen. Jäljellä on

yksi ainoa osa ja osan sijainnille on tarjottu ainoastaan yksi looginen paikka. Näin viimeinenkin osa saadaan asetettua oikeaan paikkaan. (Norman 1998, s. 75-79, 86-87.)

Käytännöllisen sijoittelun ja toiminnan suhde voidaan havaita monesta kohteesta. Jos kaksi kytkintä ohjaa kahta eri valaisinta, oletetaan vasemmanpuoleisen kytkimen ohjaavan vasemmanpuoleista valaisinta. Vastaavasti oikeanpuoleisen kytkimen oletetaan ohjaavan oikeanpuoleista valaisinta. Jos kytkimet ovat asetettu vaakatasoon, luonnollista miellelyhtymää ei synny, eikä voida päätellä ohjataanko ylemmästä kytkimestä vasemman- vai oikeanpuoleista valaisinta. (Norman 1998, s. 75-79, 86-87.)

Luonnollinen miellelyhtymä on tärkeässä osassa suunniteltaessa laitteita. Hyvin suunnitellut kytkinten ja muiden osien sijoittelu yksinkertaistaa tuotteen käyttöä ja siten parantaa käytettävyyttä. Luonnollisen miellelyhtymän toteutuksessa saattaa syntyä ongelmia, kun tuotteen tilaaja ja loppukäyttäjä eivät ole sama. Tällöin tuote suunnitellaan eri periaatteilla, koska tilaaja ja loppukäyttäjä omaavat erilaiset taustat ja odotukset tuotteesta.

## 4.5 Näkyvyys ja palaute

Näkyvyys ja palaute ovat rajoitusten ja luonnollisten miellelyhtymien lisäksi merkittäviä systeemin mielekkäässä käytössä. Systeemiä käytettäessä sen tulisi tarjota jatkuvasti tietoa käyttäjälle mitä on tapahtumassa ja miten systeemi tulkitsee käyttäjän toimia. Tekemällä oleelliset osat näkyviksi ja helposti havaittaviksi sekä antamalla välittömän sekä ilmeisen palautteen jokaisesta käyttäjän toimesta, kokee käyttäjä systeemin mielekkääksi käyttäen. (Norman 1998, s. 99-104; Nielsen 1993, s. 129-142.)

Näyttö antaa mahdollisuuden näkyvyyden ja palautteen tehokkaaseen yhdistämiseen. Näyttö onkin oivallinen väline tarjota visuaalinen esitys ja palaute samassa paikassa. Äänet antavat mahdollisuuden tehdä sellaisia asioita havaittavaksi, joita ei välttämättä pystytä tehokkaasti esittämään näytöllä. Tämänlainen tilanne on esimerkiksi oven lukosta kuuluva naksahdus oven mennessä kiinni. (Norman s.99-104.)

Palautteen johdonmukaisuus on merkittävä asia systeemin käytettävyyden kannalta. Näytössä esitettävät samantyyppiset asiat tulisi esittää aina samalla tavalla, jotta käyttäjä kokee systeemin käyttämisen helposti omaksuttavaksi. Käyttäjää ei pidä saattaa tilanteeseen, jossa koetaan jääneen jumiin, eikä tilanteesta ole poispääsyä. Käyttäjälle tulee antaa tunne, että hän pystyy kontrolloimaan tilannetta. Selkeästi merkityt poistumismerkkit tai peruutusnapit tarjoavat tähän oivan ratkaisun. (Nielsen 1993, s.129-142.)

On palautteen muoto visuaalinen, ääni tai jokin muu, tulee palautetta antaa jatkuvasti eikä vain odottaa virhetilannetta. Osittaisesta palautteesta saadaan hyötyä, kun toiminta on moniosainen tai sen kesto on pitkä. Esimerkiksi tiedon latautumisesta tulee antaa palautetta heti alussa, jotta tiedetään latauksen lähteneen käyntiin. Latauksen edetessä on hyvä esittää välitilanteita, jotta varmistutaan toiminnan jatkumisesta. Positiivista palautetta tulee myös esittää. (Norman 1998, s. 99-104; Nielsen 1993, s. 129-142.)

## 4.6 Suunnittelu virheiden varalta

Ihmiset tekevät virheitä jatkuvasti. Keskustelussa kahden ihmisen välillä esiintyy jo lyhyessä ajassa kangertelua puheessa, toistoja, ajatustaukoja ja monia muita tilanteita, jotka tulee korjata keskustelun edistymiseksi. Ihmisen kyky käsitellä näitä tilanteita on erittäin toimiva, joten keskustelu koetaan lukuisista virheistä huolimatta sujuvaksi. Virheiden tekeminen käytettäessä laitteita aiheuttaa yleensä vaativammat toimet niiden korjaamiseksi.

Virheet voidaan jaotella monella tavalla. Kaksi pääkategoriaa on lipsahdukset ja erehdykset. Lipsahdukset johtuvat automaattisista toimista. Näitä syntyy, kun tiedostamattomat toimet, jotka ovat tarkoitettu tavoitteen saavuttamiseksi, johtavat harhaan. Ajaminen autolla sunnuntaina työpaikalle, kun tarkoitus oli ajaa markettiin, ja kannen laittaminen kahvikupin päälle sokerikulhon sijalta, ovat esimerkkejä lipsahduksista. Kannen laittaminen kahvikupin päälle johtui kahvikupin ja sokerikulhon samankaltaisuudesta. Lipsahdukset ovat suhteellisen helppo havaita, koska tavoitteen ja toteutuneen välillä on selkeä ero. Kuitenkin erehdyksen havaitsemiseen tarvitaan palautetta, jotta ero tavoitteen ja toteutuneen välillä voidaan havaita. (Norman 1998, s. 99-111.)

Erehdykset johtuvat tietoisesta harkinnasta, jossa päättely menee harhaan. Tietoisesta harkinnan avulla pystytään tekemään luovia ja oivaltavia ratkaisuja sekä nähdään asioiden välisiä suhteita. Luovuuden ja oivaltavuuden vuoksi voidaan nähdä joidenkin asioiden välillä yhteys, vaikka sitä ei todellisuudessa ole. Kun johtopäätös muodostetaan osittaisten tietojen, väärin ymmärretyn tilanteen pohjalta, väärin päätelmien pohjalta tai ei huomata ottaa kaikkia olennaisia asioita huomioon, muodostuu erehdys. (Norman 1998, s. 105, 114.)

Virhetilanteet ovat merkittäviä käytettävyyden kannalta. Virhetilanteessa käyttäjä on ongelmissa eikä pysty suorittamaan toimia saavuttaakseen tavoitetta. Toisaalta virhetilanteet auttavat käyttäjää ymmärtämään järjestelmän toimintaa, jos käyttäjä on motivoitunut virheilmoituksen lukemiseen ja annettava virheilmoitus antaa tietoa ongelmasta. Virheilmoitusten tulee noudattaa neljää yksinkertaista sääntöä:

- Virheilmoitukset tulee esittää selvällä kielellä ja välttää epämääräisiä ilmauksia. Käyttäjän on ymmärrettävä virheilmoituksen tarkoitus ilman tarvetta lukea järjestelmän manuaalia.
- Täsmällinen ja kohdistettu kuvaus virheestä on parempi kuin yleiskuvaus. Esimerkiksi virheilmoituksen ”Ei voida avata tiedostoa” sijaan kannattaa antaa tarkempi kuvaus, kuten ”Ei voida avata tiedostoa *'tiedoston nimi'*”. Kyseistä tiedostoa ei löydy levyltä.”
- Käyttäjää tulee auttaa ongelman ratkaisemisessa. Jos jotain toimintaa ei pystytä tekemään, voidaan ehdottaa vaihtoehtoa.
- Ilmoitusasun tulee olla kohtelias, käyttäjää ei saa pelotella eikä syyttää tapahtuneesta virheestä.

Hyvien virheilmoitusten lisäksi järjestelmän tulee tarjota menetelmä virheistä toipumiselle. Käyttäjän tulee voida palauttaa tilanne siihen pisteeseen kuin se oli ennen virheen aiheuttamaa toimintaa. (Nielsen 1993, s. 142-144; Norman 1998, s. 131.)

Virheisiin johtavien tilanteiden välttäminen on selvästikin paras tapa selvitä virheistä. Käyttäjän antamien syötteiden kohdalla on aina ilmeinen mahdollisuus virheisiin. Yleinen tilanne jossa virheitä tulee, on pyytäessä käyttäjää kirjoittamaan jokin teksti, kuten nimi tai tiedostonimi. Näissä tilanteissa on erityisesti huomioitava, että käyttäjä saa tietoonsa ne säännöt, joita tekstin on noudatettava. Esimerkiksi käyttäjälle on ilmaistava nimen maksimipituus, jos käyttäjä ylittää sallitun pituuden. Tästä on annettava myös selkeä virheilmoitus, jotta käyttäjä ei luule tehneensä virhettä, kun nimi ei näy kokonaisuudessaan. (Nielsen 1993, s. 145-148.)

Erityisen merkittäviä toimia suoritettaessa on syytä varmistaa käyttäjältä halutaanko toiminto varmasti suoritaa. Varmistuksella herätetään käyttäjä huomaamaan, että jotain merkittävää on tapahtumassa. Jos toistuvia varmistuksia käytetään usein, alkaa käyttäjän toimista tulla rutiininomaisia jolloin käyttäjä suorittaa toimia huomaamatta merkittäviä toimia. (Nielsen 1993, s. 145-148.)

## 5 ASUNTOJEN AUTOMAATIOTEKNIikka

Tarjolla on monia kotiautomaatioon tarkoitettuja tekniikoita ja standardeja. Avoimet standardit tarjoavat mahdollisuuden useille laitevalmistajille tehdä standardin mukaisia laitteita markkinoille. Avointa standardia käyttävät kotiautomaatiotekniikat ovat yleisimpiä. (Nickel 2009.)

Tässä luvussa käsitellään kahta yleisessä käytössä olevaa tekniikkaa ja yhtä uutta tulokasta: X10, KNX ja DigitalSTROM. X10 oli näistä ensimmäinen, alkujaan 1970-luvun puolivälistä (Edward & Driscoll). KNX pohjautuu EIB:iin (European Installation Bus), joka kehitettiin 1990-luvun alussa (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006). DigitalSTROM on uusi. Se on saanut alkunsa vuonna 2007 (digitalStrom).

Näiden tekniikoiden esiintyminen on maantieteellisesti jakautunut. X10:ä käytetään lähinnä USA:ssa. Euroopassa se on melko harvinainen. KNX on taas Euroopassa selkeä markkinajohtaja. DigitalSTROM:in ensimmäiset tuotteet saatiin markkinoille keväällä 2011 saksankielisille alueille Eurooppaan (Aizo).

Ikäerosta huolimatta, X10 ja DigitalSTROM perustuvat samaan kommunikaatiotapaan. Molemmat käyttävät, datasähköä, PLC:tä (Power Line Communication) eli lähettävät viestinsä sähköverkon kautta. KNX tarjoaa neljä erilaista tapaa kommunikaatioon: kierretty parikaapeli, radion välityksellä, PLC ja Ethernet.

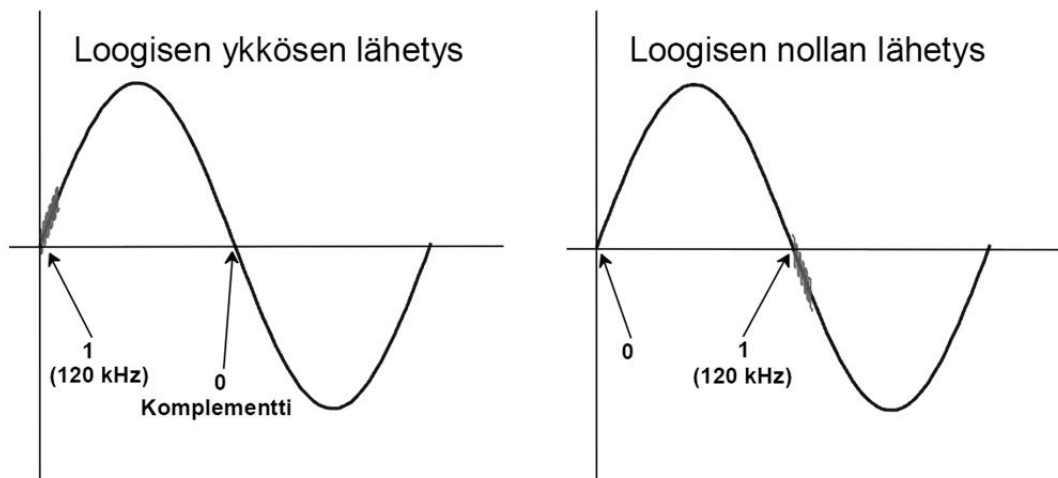
### 5.1 Taloautomaatiojärjestelmä X10

X10 kehitettiin Skotlantilaisessa yrityksessä, Pico Electronics Limited, vuonna 1976. Se oli aikanaan mullistava järjestelmä, joka tarjosi ensimmäisten joukossa sovelluskohtaisen integroidun piirin (IC integrated circuit) pitämään kustannukset alhaisena. X10:stä tuli pian suosittu enemmän mukavuutta haluavien amerikkalaisten kodeissa. Alkujaan X10 käytettiin valojen ohjaamiseen, mutta nykyisin ohjausmahdollisuudet ovat kasvaneet. Uusia tekniikoita on yhdistetty mukaan tarjoamaan uusia toimintoja ja ohjausmahdollisuuksia. (Edward & Driscoll; McGonigal; Microprocessor History Foundations.)

Data, joka sisältää osoitteet ja käskyt, lähetetään olemassa olevan sähköverkon johtojen kautta käyttäen 120 kHz:n kantoaaltoa. Data lähetetään jokaiseen vaiheeseen, jotta viesti menisi perille myös muissa vaiheissa toimiville laitteille. Yksittäinen bitti lähetetään sähköverkon nollakohdan aikana. Koska sähköverkko on hyvin häiriöaltista, lähetetään jokainen bitti yhdessä sen komplementin kanssa. Lähetettäessä loogista ykköstä tuotetaan 1 ms kestoinen 120 kHz korkeataajuinen signaali alkaen nollakohdasta. Seuraavan kerran saavutettaessa nollakohdan ei lähetetä signaalia, jolloin syntyy komplementti. Looginen nolla ilmaistaan vastaavasti ilman signaalin lähettämistä ensimmäi-



sessä nollakohdassa ja seuraavassa nollakohdassa lähetetään signaali. Kuvan 5.1 vasemmanpuoleinen osuus esittää ykkösbitin lähetystä ja oikeanpuoleinen nollabitin lähetystä. (EuroX10.)



**Kuva 5.1.** Periaate yksittäisen bitin muodostamisesta X10-taloautomaatiojärjestelmässä (EuroX10).

Lähetyksessä yksi paketti, joka sisältää dataa tai osoitteen, lähetys kestää kokonaisuudessaan 22 nollakohdan ylitystä. Jokainen paketti lähetetään kaksi kertaa, jotta saadaan parannettua luotettavuutta. Pakettien välissä on kuusi tyhjää nollakohdan ylitystä, poikkeuksena ovat himmennyskäskyt. Näin yhden käskyn tai osoitteen perillemeno vaatii 100 nollakohdan ylitystä. Kun sähköverkon taajuus on 50 Hz, käskyn lähettämiseen kuluu aikaa yksi sekunti. Seuraus hitaasta datan lähettämisenopeudesta on, että järjestelmä tukee maksimissaan 256 laitetta ja käytettävissä on 16 käskyä. Osa laitteista voi käyttää samaa osoitetta, jolloin ne vastaanottavat kaikki saman datan ja toimivat sen mukaan. Saman osoitteen perässä olevat laitteet lasketaan yhdeksi laitteeksi. (EuroX10.)

Yksi vakavampi puute X10 protokollassa on vastaanottokuittauksen puuttuminen. Kuittausviestiä ei lähetetä takaisin onnistuneen tai epäonnistuneen paketin vastaanottamisen jälkeen. Tämän vuoksi kommunikaatio ei ole luotettavaa. Jatke X10 standardiin sisältää mahdollisuuden selvittää laitteen tila, mutta tämä tarvitsee erikoislaitteet. Luotettavuus lisääntyy, mutta järjestelmä tulee hitaammaksi suurempien datamäärien siirtämisen vuoksi. X10 protokollassa ei ole salaismahdollisuutta. Sähköverkon välityksellä voidaan käyttökohteen ulkopuoleltakin saada selville lähetetty data. Tahaton ja tahallinen ohjaus ja häirintä ovat mahdollisia. Suodattamalla kohteen ulkopuolelle lähtevä sähköverkko voidaan näitä ongelmia pienentää. (Timers Plus LLC.)

X10:ssä on puutteita tietoturvallisuudessa, luotettavuudessa ja se on hidas. Valmistajia on useita ja tekniikka on vanhaa, joten tuotteita on saatavilla laajalti moniin eri käyttötarkoituksiin ja ne ovat edullisia. Asennus on helppoa, eikä tarvita lisäjohtoksia, vaan voidaan käyttää olemassa olevaa sähköverkkoa. Uusia sovelluksia kehitetään edelleen ja uusia tekniikoita liitetään mukaan, kuten mahdollisuus etäkäyttöön. X10 on yksityisellä sektorilla ja yksittäisten asukkaiden laajassa käytössä, erityisesti Pohjois-Amerikassa.

## 5.2 Taloautomaatiojärjestelmä KNX

### 5.2.1 Historia

KNX pohjautuu EIB-väylätekniikkaan (European Installation Bus), joka kehitettiin 1990-luvun alkupuolella. Tavoitteina oli kehittää sähköasennusten turvallisuutta, joustavuutta ja mukavuutta sekä energiatarpeen minimointia. Ensimmäiset EIB tuotteet tulivat markkinoille 1991. Batibus-järjestelmää kehitettiin etenkin ranskankielisillä alueilla tavoitteina samat päämäärät kuin EIB:ssä. (Nickel 2009; Krempelsauer 2009.)

KNX-yhdistyksen laatiminen lähti käyntiin vuonna 1996, kun haluttiin aikaansaada maailmanlaajuinen standardi. KNX-yhdistys perustettiin vuonna 1999 tukemaan kehitettävää standardia. KNX-järjestelmään yhdistettiin osaksi ominaisuuksia Batibus-järjestelmästä ja EHSA:sta (European Home System Association). Edeltävien yhdistysten yhteensulautuminen helpotti KNX-yhdistyksen vaiheita. Vuodesta 2003 alkaen KNX on noudatanut standardin EN 50090 vaatimuksia ja vuodesta 2006 alkaen kansainvälistä standardia ISO/IEC 14543-3. (Krempelsauer 2009; KNX Perusperiaatteet 2006.)

### 5.2.2 Edut

KNX pohjautuu pitkäaikaiseen kehitykseen ja kokemukseen sekä yhdistelmään aiemmin käytettyjä tekniikoita. Standardoitu järjestelmä mahdollistaa yhteensopivuuden laitteiden ja toimintojen välillä. Tuotteille tarvitaan erillinen tyyppihyväksyntä, jotta ne voivat käyttää KNX-tuotemerkkiä (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006.) Kaikkien valmistajien tuotteet ovat keskenään yhteensopivia, jolloin ei synny riippuvuutta laitevalmistajasta. KNX – järjestelmällä voidaan toteuttaa asennukset pienestä huoneistosta suureen liikekiinteistöön asti. Joustavuus koon suhteen tarjoaa myöhemminkin mahdollisuuksia laajennuksiin. KNX – järjestelmä on käytössä Suomessa monissa omakotitaloissa sekä suurissa rakennuksissa, kuten Eläintieteellinen Museo ja vuosia aiemmin rakennettu Kiasma (KNX Finland ry).

KNX-järjestelmässä kytkimet, anturit, näytöt ja muut käyttöliittymät yhdistetään yhteiseen siirtotiehen. Siirtotiehen asennetaan myös toimilaitteet, jotka kytkevät kuormia päälle ja pois käyttöliittymiltä tulevien datasanomien mukaan. Perinteisessä sähköasennuksessa kuormaa ohjataan suoraan kytkimen kautta. Tällöin kytkimelle on tuotava kaapeli, joka mitoitetaan kuorman tarvitsevan tehon mukaan. KNX-järjestelmässä käyttöliittymien ja toimilaitteiden välillä on yhteys, joka ei riipu suunnitellusta kuormasta. Tämä antaa mahdollisuuden muokata käyttöliittymien toimintoja. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006; KNX Finland ry; Nickel 2009.)

Sähköasennukset suoritetaan samaan tapaan kuin perinteiset sähköasennukset jakokeskuksissa ja jakorasioissa. Johdotus on selkeämpi ja yksinkertaisempi johtuen siirtotien ja kuormien eriytetystä kaapeloinnista. Siirtotien asennus on mahdollista suunnitella etukäteen tietämättä lopullisesta toiminnallisuudesta. Toiminnallisuus lisää asennuksen valmistuttua ohjelmallisesti, eikä muutoksia varten tarvitse tehdä asen-

nuksia eikä kaapelointeja. Käytettävät komponentit voidaan valita miltä tahansa valmistajalta ja osa niistä voidaan valita asennusten loppupuolella. Standardoinnin ja useamman valmistajan myötä on oletettavaa, että korvaavia laitteita on saatavilla tulevaisuudessa.

Järjestelmä mahdollistaa mukavuustoimintoja, kuten näyttö- ja ohjauspaneelit, erilaisia valaistustilanteita ajan, valoisuuden, läsnäolon tai muun funktion mukaan sekä lisää turvallisuutta. Näiden toteutus perinteisellä järjestelmällä ei ole mielekäästä, joko toteutusteknisesti tai kustannuksiltaan. KNX mahdollistaa monien toiminnallisuuksien yhdistämisen ja ohjaamisen. Näiden myötä energiansäästömahdollisuudet kasvavat, kun monet laitteet ovat sidoksissa toisiinsa ja toimivat järkevästi yhteen. Etävalvontaa voidaan suorittaa Internetin tai matkapuhelimen välityksellä. Hälytysten reititys on mahdollista asettaa asukkaalle tai esimerkiksi huolto-organisaatiolle. Muutosmahdollisuudet ohjauksessa ovat mahdollisia myöhemminkin. Asunto on pitkäaikainen, mutta eri huoneiden käyttötarkoitus voi muuttua nopeastikin. Muutokset voidaan tehdä ohjelmallisesti, jolloin säästytään mekaaniselta muutostyöltä kuten kaapeloinnilta ja asennukselta.

### 5.2.3 Siirtotiet

KNX-järjestelmä tukee kolmea tiedonsiirtoväylää. Yleisin tiedonsiirtotapa on väyläkaapeli eli käytännössä kierretty parikaapeli. Muita mahdollisuuksia ovat sähköverkon kautta tapahtuva tiedonsiirto ja radioverkko 868 MHz:n taajuudella. Kaikkia siirtoteitä voidaan käyttää yhdessä käyttämällä mediakytkimiä eri siirtoteiden välillä. Mediakytkimet muuttavat tiedot kullekin siirtotielle sopiviksi. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006; KNX.)

#### Väyläkaapeli

Väyläkaapeli on yleisimmin käytetty siirtotie KNX:llä ohjattavien laitteiden välillä. Standardin mukainen väyläkaapeli on vihreä ja sisältää neljä johdinta. Kaksi johdinta näistä on varattu tulevaisuuden tarpeisiin. Väyläkaapelina voidaan käyttää myös muuta kaapelia. Toiminnallisuuden vuoksi on suositeltavaa käyttää kierrettyä paria. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006.)

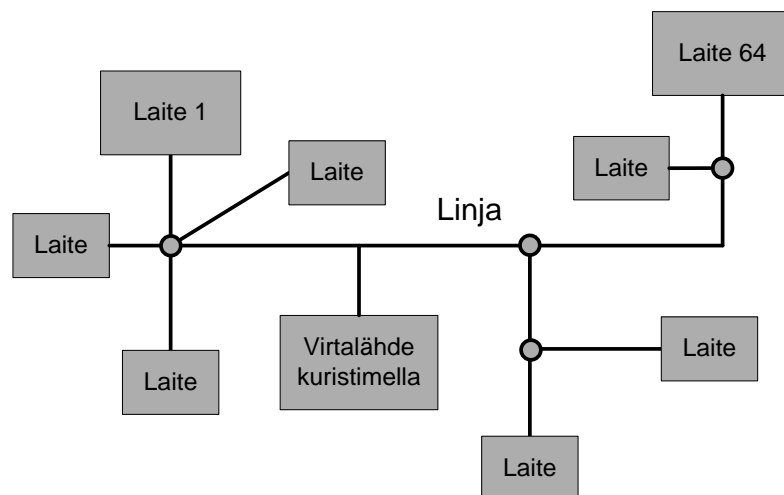
Väyläkaapelin kaksi johdinta ei toimi vain datan fyysisenä siirtotienä vaan tarjoaa myös laitteille sähkönsyötön. Väylän jännite on 24 VDC, mutta yleensä käytetään suurempaa jännitettä, jotta 24 VDC voidaan taata jokaiselle laitteelle väylän loppupäässäkin. Jopa 30 VDC on käytössä. Kytkettyjen laitteiden mukaan valitaan linjaa syöttävä virtalähde, joka tarjoaa laitteiden käyttämän virran. Jokainen laite voi ottaa 12 mA virtaa väylästä. Enemmän virtaa vaativat laitteet tulee kytkeä oman virtalähteensä perään, jolloin ne eivät kuormita linjan virtalähdettä. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006; KNX.)

Väyläkaapelin maksimi pituuden ja laitteiden etäisyydet on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 1).

**Taulukko 1.** Väyläkaapelin maksimi pituus ja laitteiden väliset etäisyydet (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006).

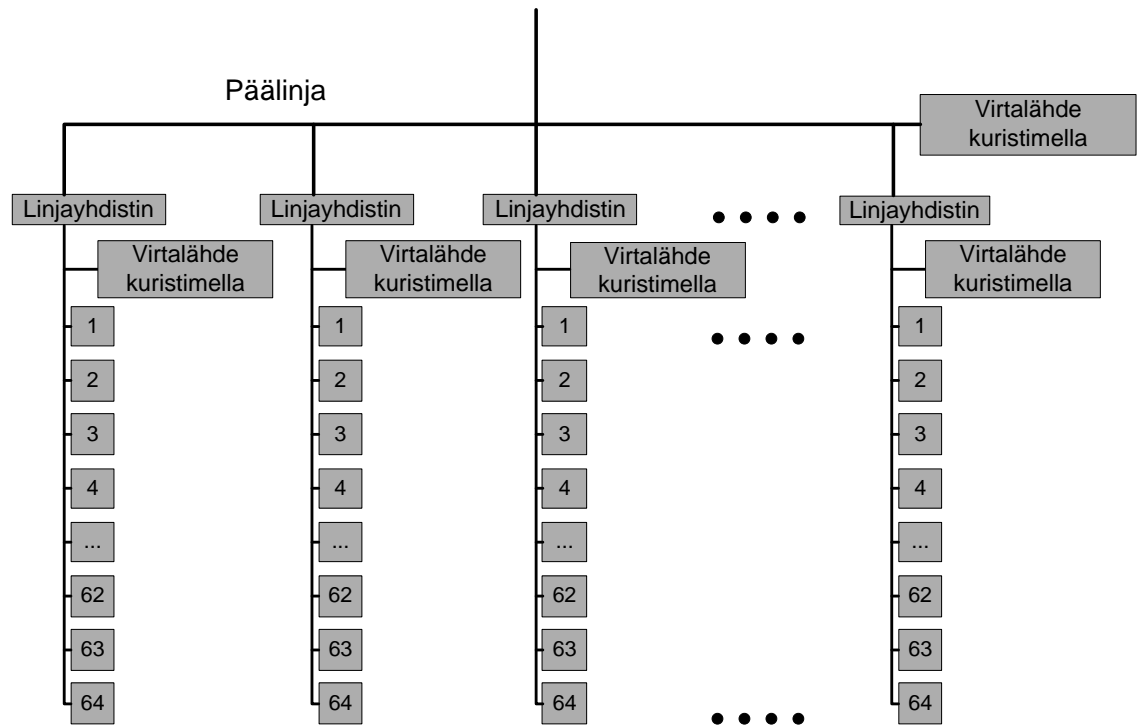
Linjan pituus	maksimi 1000 m
Virtalähteen ja väylälaitteiden välinen etäisyys	maksimi 350 m
Kahden virtalähteen välinen etäisyys	minimi 200 m
Kahden väylälaitteen välinen etäisyys	maksimi 700 m

Käytettäessä väyläkaapelia KNX-järjestelmä koostuu hierarkkisesta rakenteesta, joka on jaettu linjoihin ja alueisiin. Linja on näistä pienin yksikkö. Yhteen linjaan voidaan kytkeä 64 laitetta, kuten on esitetty kuvassa 5.2. Linja voidaan jakaa kolmeksi segmentiksi linjavahvistimen kautta. Kussakin segmentissä tulee olla oma virtalähde. Segmentin kaapelin pituus voi olla 1000 m. Segmentit kasvattavat linjassa olevien laitteiden määrää kukin 64:llä.



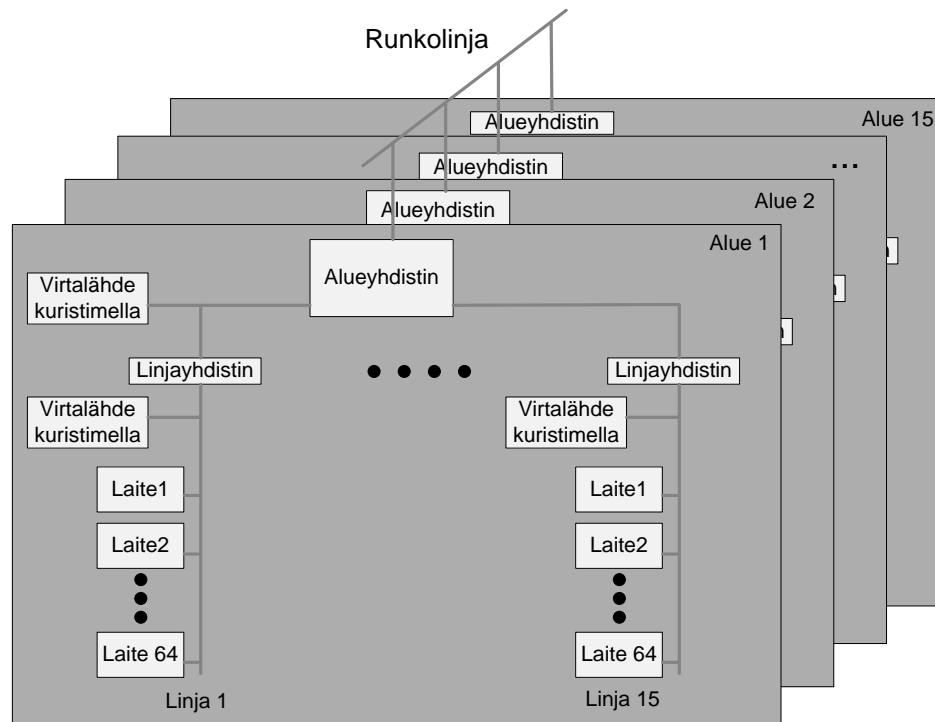
**Kuva 5.2.** Väyläkaapelilla rakennettu KNX-järjestelmän linja (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006).

Lisää laitteita voidaan kytkeä, kun yhdistetään useampi linja. Enimmillään 15 linjaa voidaan yhdistää linjayhdistimen kautta päälinjaan. Kuva 5.3 esittää kyseistä rakennetta. Päälinjan muodostamaan kokonaisuutta kutsutaan alueeksi.



**Kuva 5.3.** Alue muodostuu linjoista (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006).

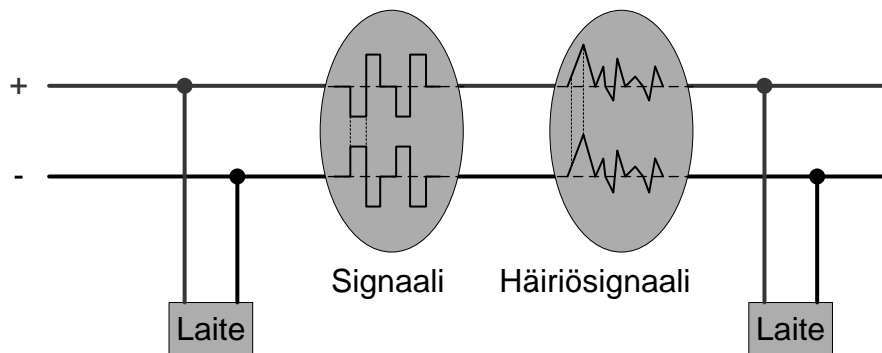
Alueita voi järjestelmässä olla 15 kappaletta. Alueet yhdistetään runkolinjaan alueyhdistimien kautta. Kuva 5.4 havainnollistaa alueiden yhdistämistä runkolinjan välityksellä. Yhteensä toimilaitteita järjestelmässä voi olla yli 58000 kappaletta. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006.)



**Kuva 5.4.** Alueiden yhdistäminen runkolinjan välityksellä (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006).

Laitteiden jakaminen alueisiin ja linjoihin tuo mukanaan etuja. Käyttöluotettavuus paranee, kun jokainen linja on galvaanisesti erotettu oman virtalähteensä kautta. Yhdessä linjassa oleva vika ei estä lopun järjestelmän toimimista. Linjan tai alueen sisäinen tietoliikenne ei näy muille linjoille tai alueille. Tietoliikenteen määrä ja sitä kautta tiedon läpimenoajat ovat linja tai aluekohtaisia (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006.)

Sanomat kuljettavat laitteiden välillä kytkentäkäskyt, signaalit ja muut tiedot. Väylälinjan topologia voi olla lähes millainen vain, ei kuitenkaan rengasmainen. Siirto-tekniikan rakenne on suunniteltu siten, että väylälinja ei vaadi impedanssisovitusta. Signaalit lähetetään differentiaalisesti, jolloin kierrettyyn parikaapeliin tulevat sähköiset häiriöt eivät vaikuta signaaliin (kuva 5.5). Tiedonsiirtonopeus on 9600 bittiä/s ja keskimääräinen sanoman läpimenoaika on noin 25 ms. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006.)

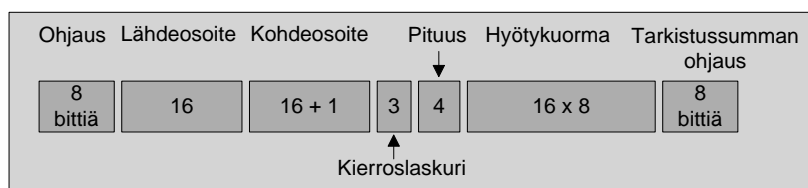


**Kuva 5.5.** Sanomat laitteiden välillä lähetetään käyttämällä differentiaalista tiedonsiirtoa (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006).

Väylälaitteiden välinen liikenne tapahtuu vuoropohjaisesti. Yksi laite kerrallansa voi lähettää väylään tietoa. Luotettavuuden parantamiseksi käytetään hajautettua väyläyhteysmenetelmää CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance). Tämä on siirtotien varausmenetelmä, jolla useammat laitteet voivat toimia samassa siirtotiessä. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006; KNX.)

Samaan aikaan lähetetyt tiedot aiheuttavat törmäyksen, joka tapahtuu, kun laitteet pääsevät lähettämään väylään samaan aikaan. Törmäykset havaitaan lähettämällä siirtotien varaava signaali ennen varsinaista dataa. Varausjärjestelmän vuoksi tiedot eivät pääse häviämään. Sanoman priorisointijärjestelmän vuoksi joillekin tiedoille, kuten vikasignaaleille, voidaan antaa etusija käyttää siirtotietä. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006.)

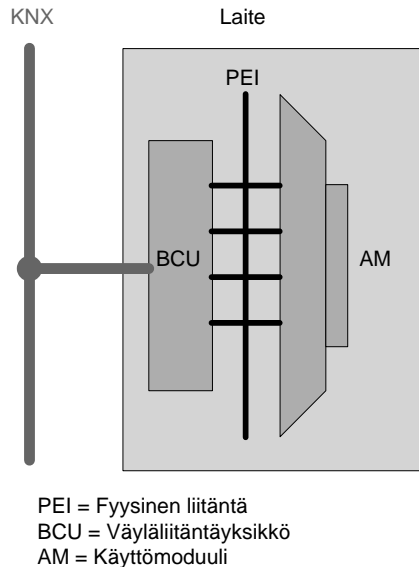
Sanoma on merkkijono, jossa on varsinaisen hyötytiedon lisäksi oheistietosisältöä. Sanoma muodostuu väyläkohtaisista tiedoista, hyötytiedoista, hyötysisällöstä sekä testitiedoista, joiden avulla siirtovirheet havaitaan. Kuvassa 5.6 on esitetty sanoman rakenne ja yksittäisten osuuksien koot bitteinä. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006.)



**Kuva 5.6.** Sanoman rakenne väyläkaapelissa (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006).

Kommunikointiin osallistuvat laitteet määrittyy kohdeosoitteen perusteella. Kohdeosoite voi viitata yksittäiseen laitteeseen, laiteryhmään, joka on kytketty omaan linjaan, toiseen linjaan tai jaettu useiden linjojen kesken. Yksi laite voi kuulua useampaan ryhmään. Hyötykuormana voi olla muun muassa käskyjä, viestejä, asetusparametreja sekä mittausarvoja. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006.) Valokytkimen painamisesta saadaan tieto hyötykuorman sisältöä tarkastelemalla.

Väylälaite koostuu periaatteessa kahdesta eri osasta. Väylälaitteita ovat esimerkiksi valokytkimet, kytkinanturi, himmenninyksikkö ja verho-ohjausyksikkö. Periaatteellinen väylälaitteen osakuvaus nähdään kuvassa 5.7.



**Kuva 5.7** Väylälaitteen periaatteellinen osakuvaus (*Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006*).

Väyläliitäntäyksikköön (BCU) voidaan liittää useampia erilaisia käyttömoduuleita (AM), esimerkiksi yksi- tai kaksiosainen valokytin. (*Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006*.)

### Sähköverkko siirtotienä

Sähköverkko KNX-järjestelmän siirtotienä on käytössä yleisemmin vain Saksassa. Sähköverkon kautta tapahtuvalle tiedonsiirrolle käytetään KNX-järjestelmässä nimitystä Powerline KNX. Powerline KNX -laitteet kytketään vaiheen ja nollan välille. Asennukset voidaan tehdä jälkikäteen ja laitteiden ohjelmointi hoidetaan samalla ohjelmalla kuin parikaapelia käyttävien laitteiden. Mitoitukset ja käyttö ovat pitkälti samanlaisia kuin parikaapelikomponenttien. (*Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006*.)

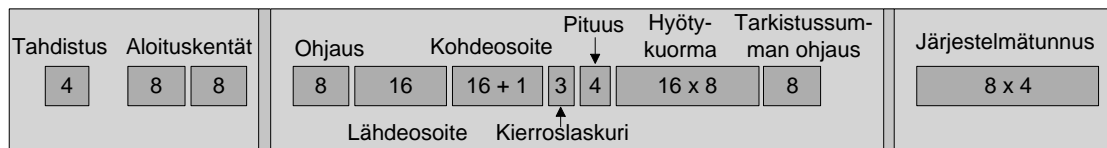
Linjat ja alueet ovat käytössä Powerline KNX:n ollessa siirtotienä. Hierarkkisesti rakenteesta huolehtii KNX – järjestelmä. Linjan topologia on lähes samanlainen kuin parikaapelin. Virtalähdettä ei tarvita, koska laitteet ottavat tarvitsemansa virran suoraan sähköverkosta. Parikaapeleiden kanssa käytetty linjayhdistin vastaa Powerline KNX:ssä järjestelmäkytkimiä. Yksittäisten alueiden välinen fyysinen erotus tehdään kantoaal-tosalvalla. (*Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006*.)

Tiedot siirtyvät sähköverkossa suurtaajuussignaaleina. Powerline KNX:n tiedonsiirron mainitaan olevan luotettava ja nopea vaikka suurtaajuussignaalien sähköverkon siirto-ominaisuudet ovat usein määrittelemättömät. Kukin laite voi lähettää ja vastaanottaa viestejä, mutta vain yksi viesti kerrallansa linjassa on sallittu. Tiedonsiirto sähköverkossa on toteutettu SFSK (hajautettu vaihtotaajuuskoodaus) tekniikkaa käyttäen. Tiedonsiirtonopeus on 1200 bittiä sekunnissa ja sanoman siirtämiseen menee aikaa noin 130 ms. (*Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006*.)



Tiedonsiirron luotettavuutta parantaa vastaanotettuun signaaliin käytettävä mallivertailutekniikka ja älykäs korjausmenetelmä. Näiden avulla voidaan signaali vielä tulkita oikeaksi, vaikka siirron aikana olisi tapahtunut häiriöitä. Kun vastaanottaja ymmärtää sanoman, vastaanottaja lähettää siitä vahvistuksen lähettäjälle. Kun tämä on suoritettu, päättyy siirtoprosessi. Kuten väylälaitteiden välisessä liikenteessä myös tiedonsiirrossa sähköverkon välityksellä on käytössä CSMA/CA. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006.)

Sanoman rakenne on lähes samanlainen kuin väyläkaapelissa käytetty. Sanoman sisältö on sama, mutta lisäksi sanoman alkuun tulee tahdistus ja aloituskentät, jotka ovat esitetty kuvassa 5.8.



**Kuva 5.8.** Sanoman rakenne Powerline KNX – järjestelmässä (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006).

Tahdistus synkronoi lähettimen ja vastaanottimen ja aloituskentät ovat käynnistyssignaaleja vastaanottimelle. Sanoman loppuun tulee järjestelmätunnus. Useita Powerline KNX laitteita voidaan luokitella järjestelmätunnuksen mukaan. Vain saman järjestelmätunnuksen omaavat laitteet voivat kommunikoida keskenään. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006.)

### Radiotaajuus siirtotienä

Käytettäessä radioverkkoa tiedonsiirtoon laitteiden välillä voidaan laitteiden sijoitus valita vapaasti, kunhan ollaan radiosignaalin kantaman sisällä. Radiosignaalin etenemistä on vaikea ennustaa, koska se riippuu useasta tekijästä. Tähän vaikuttavat esimerkiksi seinämateriaalit ja niiden paksuudet, huonekalut sekä mahdollisesti muut elektroniset laitteet, jotka häiritsevät radiosignaalia. Yhden laitteen radiosignaalin kantama on noin 100 metriä vapaassa tilassa. Laitteen lähetysteho rajoittaa yleensä akkukäyttöisten laitteiden rajallinen käyttöenergia. Akkukäyttöisissä laitteissa pyritään pitämään energian kulutus matalalla, jotta niiden huoltoväli olisi mahdollisimman pitkä. Vapaassa tilassa etenevän radiosignaalin kantama on suurempi kuin rakennuksessa sisällä etenevän radiosignaalin kantama. Radiosignaali vaimenevat kulkiessa esteiden, kuten seinien, kattojen ja huonekalujen, läpi. Radiosignaali voi myös heijastua esteestä. Heijastunut radiosignaali voi vahvistaa tai heikentää vastaanotettavaa signaalia. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006; KNX.)

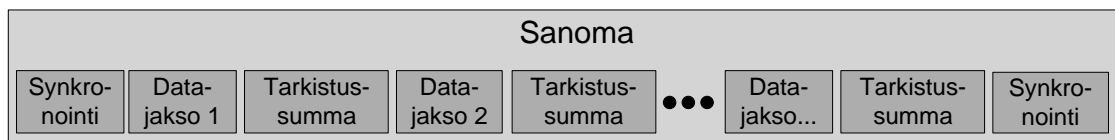
Laitteilla ei ole hierarkkista järjestystä eikä erityistä topologiaa. Laitteen lähettämä viesti voidaan toistaa toisessa laitteessa, jolloin radiosignaalin kantama saadaan kasvatettua. Välivahvistimella saadaan toistettua viestit vahvistettuna, jolloin radiosignaalin kantama kasvaa. Tämän vuoksi ei ole mahdollista määritellä suurinta toimivaa radioverkkoa. Laitteet lähettävät oman sarjanumeronsa osana sanomaa. Vastaanottavat laitteet tulkitsevat kuuluuko kyseinen sanoma käsitellä. Koska radioverkon kokoa ei

pystytä tarkasti rajaamaan, sarjanumeron lähettäminen osana sanomaa on tapa rajata samaan kokonaisuuteen kuuluvat laitteet. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006; KNX.)

KNX – radiojärjestelmässä signaalit moduloidaan käyttäen taajuusmodulaatiota tai vaihtotaajuuskoodausta (FSK). Kantoaaltotaajuus on 868,30 MHz ja tiedonsiirtonopeus on 16 384 bittiä sekunnissa moduloituna Manchester-koodin mukaan. Radiolähteyksen aikaväli, jota kutsutaan myös nimellä työjakso, on 1 %. Lähetysjakso on 1 % työjaksolla maksimissaan 0,6 sekuntia minuutissa. Jokainen laite noudattaa 1 % työjaksoa, jolloin mikään yksittäinen laite ei pääse varaamaan kaistaa jatkuvasti. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006.)

Laitteet voivat olla yksi- tai kaksisuuntaisia. Yksisuuntaiset laitteet voivat joko lähettää tai vastaanottaa. Anturit, kytkimet ja tunnistimet ovat esimerkkejä yhteen suuntaan toimivista laitteista, jotka lähettävät tietoja. Yhteen suuntaan toimivia vastaanottavia laitteita ovat esimerkiksi toimilaitteet. Kahteen suuntaan toimivat laitteet lähettävät ja vastaanottavat sanomia. Lämmityksen ohjain voi olla kahteen suuntaan toimiva, kun taas lämmityksen termostaatin tarvitsee toimia vain toiseen suuntaan. Kaksisuuntaiset laitteet tarkistavat ennen lähetystä, että radiokanava on vapaa. Yksisuuntaisesti toimivat laitteet eivät seuraa radiokanavan vapautumista. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006; KNX.)

KNX – radiosanoma koostuu synkronointi-, data- ja tarkistussummajaksoista. Kuvassa 5.9 on tästä esitetty periaatekuva. Vastaanottimet synkronoidaan lähettimen kanssa synkronointijaksoilla sanoman alussa ja lopussa. Datajaksossa lähetetään varsinaiset hyötytiedot, kuten kytkentä- ja himmennyskäskyt ja väyläkohtaiset tiedot, joita käytetään osoitteenmuodostukseen. Datajaksoa seuraa tarkistussummajakso. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006.)



**Kuva 5.9** Sanoman rakenne radiolähetyksessä (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006).

Ensimmäisessä datajaksossa on osoitekenttä, laitteen KNX- sarjanumero ja tila tietojen tallennukseen (kuva 5.10). Osoitekentässä on tietoa sanoman pituudesta ja siirtolaadusta, jolla tarkoitetaan vastaanottokapasiteettiä sekä akkukäyttöisten radiokomponenttien akkujen tilasta. KNX – sarjanumero on ohjelmoitu laitteeseen valmistuksen yhteydessä, eikä sitä voi muuttaa. KNX – sarjanumeroa käytetään väyläosoitteiden muodostamiseen ja erottamiseen muista KNX – radioverkoista. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Peruseriaatteet 2006; KNX.)

Datajakso 1		
Osoitekenttä	KNX:n sarjanumero	Tarkistussumma

**Kuva 5.10.** Ensimmäisen datajakson sisältö (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006).

Toinen datajakso sisältää hyötytietojen lisäksi lähdeosoitteen, jota tarvitaan, kun laitteita ohjelmoidaan ensisijaisten ohjainten tai kytkinten kautta. Laitteet ilmoittavat lähdeosoitteen käyttöönoton yhteydessä. Datakenttä sisältää siirrettävät tiedot, kuten käskyt, viestit, asetusparametrit ja mittausarvot. Toisen datajakson sisältö on esitetty kuvassa 5.11. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006; KNX.)

Datajakso 2					
Ohjaus	Yksittäinen lähdeosoite	Kohdeosoite	Osoitekenttä	Data	Tarkistussumma

**Kuva 5.11.** Toisen datajakson sisältö (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006).

KNX – radiokomponenttien fyysinen rakenne eroaa muista KNX – komponenteista. Laitetta ei voi yleensä erottaa väyläliitäntäyksikön, käyttömoduulin tai ladattavan sovellusohjelmiston välillä vaan ne ovat laitteita, joihin on yhdistetty nämä kaikki samaan pakettiin. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006; KNX.)

#### 5.2.4 Ohjelmointi

KNX – laitteiden käyttöönotto voidaan suorittaa kolmella eri tavalla. KNX – standardi tukee kolmea konfiguraatiotilaa: A – tila, E – tila, S – tila. Nämä eroavat toisistaan toiminta-alan, aseteltavuuden, käyttöönoton ja käyttäjäryhmän osalta. A – tila, eli automaattitila on tarkoitettu yksinkertaisimmaksi käyttöönottomenetelmäksi. Sitä voidaan käyttää vain käyttäjäasetusten asettamiseen, jolloin laitteiden toiminnot tulee olla selkeästi määrittä. A – tilaa hyödyntävistä laitteista ei ole löytynyt mainintaa ja nykyisiltä KNX – yhteisön verkkosivuilta on konfiguraatiovaihtoehdoista A – tila poistettu. E – tilassa, helppokäyttötilassa, käyttöönotto tehdään erillisellä laitteella tai KNX – tuotteissa olevien painikkeiden avulla. E – tilan laitteilla on yleensä rajoitettu toimivuus. Ne sopivat etenkin pieniin ja keskisuuriin asennuksiin. E – tila on ylöspäin yhteensopiva S – tilan kanssa. S – tilan, järjestelmätilan, projektisuunnittelu ja käyttöönotto tehdään yleensä tietokoneella ETS – ohjelmiston avulla. Tässä tilassa voidaan hyödyntää kaikkia KNX – laitteiden tarjoamia ominaisuuksia. (KNX; Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006.)

Useimmiten KNX – laitteiden ohjelmointi tehdään valmistajariippumattomalla ETS – ohjelmointityökalulla. Ohjelmoinnissa määritellään muun muassa alueet, linjat,

osoitteet, toiminnot ja parametrit. Fyysinen osoite on ohjelmoitava ennen muita. Tämän jälkeen ohjelmointia voidaan suorittaa koska tahansa. Sovellusohjelmat ovat laitteiden valmistajien tekemiä. Sovellusohjelmat saadaan ladattua ETS – ohjelmointityökaluun tietokannan kautta. Valmistajakohtaisille laitteille määritellään toiminnot sovellusohjelman ja loogisten tietojen sekä asetusten avulla. Sovellusohjelma sisältää tietoa minkä muiden laitteiden kanssa ollaan yhteydessä ja miten. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006.)

### 5.2.5 Liitynnät muihin järjestelmiin

KNX – järjestelmään on tarjolla useita liityntämahdollisuuksia muista järjestelmistä. Tällöin järjestelmien välillä käytetään yhdyskäytävää, joka muuttaa tiedot järjestelmien välillä yhteensopiviksi. Valaistusohjauksesta tunnettu DALI sekä erityisesti suurissa kiinteistöissä käytetty BACnet –standardia noudattavat kiinteistöautomaatiojärjestelmät ovat mahdollista liittää osaksi KNX – järjestelmää. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006.) On olemassa paljon, ei KNX järjestelmiin perustuvaa, langattomia kotiautomaatiolaitteita, jotka voidaan liittää osaksi KNX järjestelmää.

Näiden ohella KNX standardi tarjoaa mahdollisuuden IP – pohjaiseen kommunikointiin, kuten Ethernet, WLAN (Wireless Local Area Network), FireWire. Laajoissa KNX – asennuksissa voidaan käyttää IP – verkkoa sanomien jakamiseen KNX – verkon sisällä. Tätä kutsutaan myös KNX/IP – reititykseksi. Internetin kautta on mahdollista tehdä ohjelmamuutoksia ja käyttää laitteita. (Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet 2006.)

## 5.3 Taloautomaatiojärjestelmä digitalSTROM

digitalSTROM on uusi tulokas markkinoilla. Ensimmäiset laitteet tulivat saataville 28. huhtikuuta 2011 Saksaan ja Sveitsiin (digitalStrom). Tuotteen avulla pyritään tarjoamaan käyttäjille mukavuutta ja yksikertaista tapaa kodissa olevien laitteiden käyttämiseen ilman tarvetta lukea käyttöohjeita. Laitteiden etäohjaus ja energiankulutuksen seuranta on mahdollista Internetin ja matkapuhelimen välityksellä. digitalSTROM voidaan asentaa pienellä työllä myös valmiisiin asuntoihin, koska se vaatii vain pienet lisäykset kytkentöihin ja kommunikointiin käytetään sähköverkkoa.

### 5.3.1 Edut

Asukkaalle digitalSTROM tarjoaa ensisijaisesti mukavuutta kodin sähkölaitteiden hallintaan ja mahdollisuuden energiankulutuksen seurantaan. Valojen himmentäminen ja erilaisten valaistustilanteiden tekeminen sekä mukavuutta lisäävä ”kotona/poissa” kytkin ovat perustoiminnallisuuksia. Sähkön ollessa tuntihinnoiteltua voidaan osa laitteista käynnistää edulliseen aikaan. Esimerkiksi pesukoneen tai jäädyttimen käynnistäminen silloin, kun tuntihinta on alhaisempi. (digitalStrom.)

digitalSTROM:sta on pyritty tekemään helppokäyttöinen. Käytettäessä digitalSTROMin katkaisijaa voidaan yhteen kytkimeen integroida monta toimintoa. Toiminnot ilmaistaan eri väreillä. Kytkimessä on LED (Light Emitting Diode), jolla värit tuotetaan. Taulukossa 2 on esitetty digitalSTROM- kytkin ja värikoodit.

**Taulukko 2.** *digitalSTROM kytkin ja värikoodit (digitalStrom).*

	Väri	Ryhmän käyttökohde
	Keltainen	Valot
	Harmaa	Verhot, kaihtimet
	Sininen	Ilmastointi, lämmitys
	Syaani	Audio
	Magenta	Video
	Punainen	Turvatoimet, valvonta
	Vihreä	Sisäänkäsy, kulkeminen
	Valkoinen	Talousvälineet, pesukoneet, yms.
	Tumma	Vapaasti valittavissa

Mahdollisia ohjattavia toimintoja ovat muun muassa verhojen, markiisien, lämmityksen, ilmastoinnin sekä radioiden ja televisioiden ohjaaminen. Väreillä ilmaistaan myös eri vikatilanteita tai huomion arvoisia tilanteita, kuten jonkin laitteen liiallinen sähkökuluutus verrattuna normaaliksi määritellyyn tasoon. Erilaisten valaistustilanteiden tekeminen ja asunnosta pois lähtiessä painettavan kytkimen toiminnot, kuten keittiön pistorasoiden sähkön katkaisu, lukuun ottamatta jääkaapin pistorasiaa, voidaan asettaa ilman tietokonetta. Toimintoja voidaan suorittaa Internetin tai matkapuhelimen kautta sekä kauko-ohjaimella. (digitalStrom.)

### 5.3.2 Tekniikka

Ydin digitalSTROM laitteissa on digitalSTROM chip (dSID) siru. Se tekee mahdolliseksi laitteiden kommunikaation sähköverkon kautta. Sirut kommunikoivat sähköverkon välityksellä digitalSTROM mittarin (dSM) kautta, joka asennetaan sähkökaappiin sulakkeiden viereen. digitalSTROM mittarit voivat keskustella keskenään käyttäen monia yleisiä standardoituja protokollia. digitalSTROM on mahdollista liittää Internetiin digitalSTROM palvelimen, dSS:n (digitalSTROM Server) kautta. (digitalStrom; Krempelsauer 2009.)

Olemassa olevan asunnon laitteiden muuntaminen käyttämään digitalSTROM järjestelmää on mahdollista ilman uudelleen johdottamista tai raskaita rakenteellisia muutostöitä. Pienen kokonsa ansiosta siru sopii pieneenkin asennustilaan, kuten kytkentärasiaan valokytkimen taakse. Tämän vuoksi monet vanhat sähkölaitteet on helppo muuttaa digitalSTROM yhteensopiviksi. Sirulla saadaan mahdollisuus tuottaa erilaisia toimintoja perinteiseen katkaisijaan. Yksi näistä mahdollisuuksista on valojen himmentäminen pidemmällä painalluksella, kun valojen päälle—ja poiskytkeminen tehdään

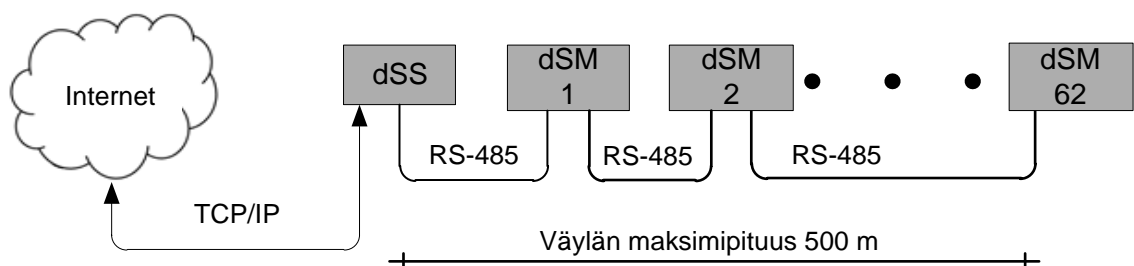
lyhyellä painalluksella. Uuteen tuotteeseen dSID voidaan asentaa valmistusvaiheessa. (digitalStrom.)

DigitalSTROM on uusi ajatus käyttää PLC:n ideaa hyödyksi. Yhteistä X10 standardin kanssa on datan lähetyksen muodostaminen nollakohdan ylityksen aikana sähköverkkoon. digitalSTROM ei käytä korkeataajuisia kantoaaltoja eikä taajuusmodulaatiota datan siirtämiseen. Datansiirto tapahtuu isännän (master) ja orjan (slave) välillä. Isäntänä toimii aina dSM ja orjana dSID. Orjalaite muodostaa datalähetyksen lisäämällä tai vähentämällä tehonkulutusta nollakohdan aikana. Isäntä lähettää viestin oikosulkemalla sähköverkkoa. Koska sähköverkon jännite lähellä nollakohdan ylitystä on pieni, virtaa kulkee datan lähetyksen aikana vähän. Databitit ovat siten pohjimmiltaan virtamoduloituja. (digitalStrom.)

### 5.3.3 Ominaisuudet

Siru itsessään kuluttaa 300 mW tehoa, jolloin sirua käyttämällä voidaan sammuttaa muutoin valmiustilassa olevat laitteet ja näin mahdollisesti vähentää virrankulutusta. Laitteet kuluttavat tehoa vasta sitten, kun ne sitä tarvitsevat, eikä niille syötetä sähköä silloin, kun ne ovat valmiustilassa. Sirulla on yli 40 funktiota, joita se voi suorittaa. Näitä ovat esimerkiksi vaihekulman ohjaaminen, energiankulutuksen mittaaminen, ylikuormitus-suojaus ja erilaisten antureiden suora ohjaus. (digitalStrom; Krempelsauer 2009.)

Uusien sirujen tunnistaminen tapahtuu automaattisesti. Jokaisella sirulla on oma yksilöllinen tunnisteensa. dSM informoi kaikkia siruja, jotka ovat liitetty ja kerää sitten niiden tunnisteet. Protokolla sallii yhden dSM:n alla olevan 1008 dSID:ä. dSM:ä voidaan kytkeä toistensa kanssa yhteen 62 kappaletta RS485 väylän ja yhden dSS:n kautta. Kuvassa 5.12 on esitetty näiden kytkentä.

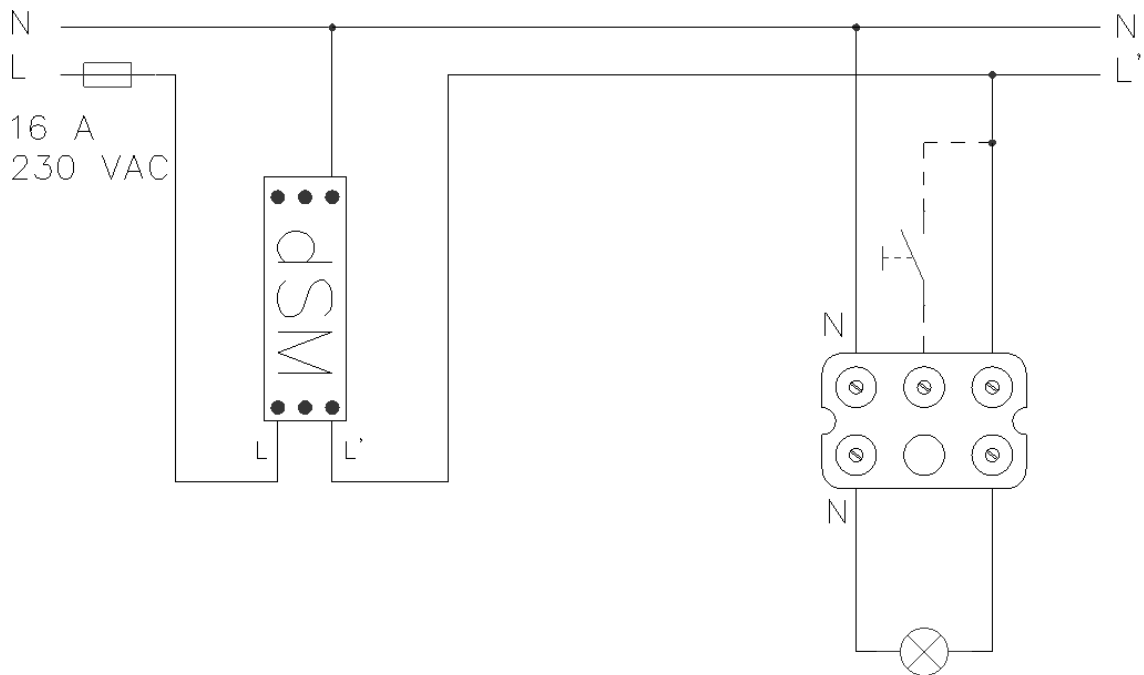


**Kuva 5.12.** Useamman dSM:n liittäminen yhteen (digitalStrom).

Yhteensä ohjattavia kohteita voi olla  $62 \cdot 1008 = 62496$  kappaletta. (digitalStrom.)

### 5.3.4 Asennus

Toiminnoista tuttua värijärjestelmää käytetään hyödyksi myös asennustarvikkeissa. Sirut ovat paketoitu terminaleiksi ja ne ovat samanvärisiä kuin niille tarkoitettujen toimintojen väri. Tämä helpottaa asentamista. Sirujen kytkeminen osaksi kytkentää tapahtuu kuvan 5.13 esittämällä tavalla. Kuvassa on kytketty lamppu.



**Kuva 5.13.** Lampun kytkentäkaavio käytettäessä digitalStrom:a

Lampun ohjaukseen käytetään valokytkintä tai painonappia. Ohjaus onnistuu myös ilman digitalSTROM:a. Tämä tarkoittaa, että kytkettyä lamppua voidaan kytkeä ja himmentää suoraan ulostulosta. Sähkökaapelin kokonaispituus saa olla 50 metriä sirujen välillä ja dSM:n ja sirujen välillä vielä enemmän. Suurimpaan toimintapituuteen, joka kaapelilla voidaan saavuttaa, vaikuttaa resistanssi ja impedanssi. (digitalStrom.)

### 5.3.5 Energianmittaus

Sähkönkulutuksen mittaus voidaan tehdä kahdella tasolla, ryhmäkohtaisesti tai yksittäisten pisteiden tasolla. Jos talo on varustettu dSM:lla, mittaus tapahtuu ryhmittäin. Ryhmä koostuu sulakkeen perässä olevista laitteista. dSM mittaa tällöin ryhmässä olevien kaikkien laitteiden kokonaiskulutusta. Kun ryhmässä on sirulla varustettuja laitteita, joko valmiina laitteessa olevia tai jälkiasennuksena lisättyjä, voidaan näiden yksittäiset sähkönkulutukset mitata. (digitalStrom.)

### 5.3.6 Sähköverkon kuormanhallinta

digitalSTROM laitteilla voidaan mitata sähkön kulutusta aina yksittäiseen laitteeseen asti. Mittaustulokset on luettavissa sekä laitteet ohjattavissa Internetin välityksellä, jolloin lukemiseen ja ohjaamiseen ei tarvita omanlaista tiedonsiirtoverkkoa vaan voidaan käyttää valmista infrastruktuuria ja protokollaa. Verrattuna muutama suureen asunnossa ohjattavaan kuormaan yksittäisten laitteiden luenta ja niiden ohjaaminen antaa mahdollisuuden sähköverkon tehokkaampaan kuormanhallintaan.

Syöttävän verkon ylikuormitustilanteessa digitalSTROM voi kytkeä laitteita asteittain pois päältä ja estää näin syöttävän verkon ylikuormituksen, samaten laitteiden päälle kytkeytyminen voidaan ohjata tapahtumaan asteittain. Sähköverkon kuormitusta

voidaan tasata kytkemällä laitteita päälle ja pois kuormituksen mukaan; hiustenkuivaajan tai lämmityksen kytkeminen päälle voi sammuttaa jäähdytyslaitteiston. Pienen sähkökulutuksen omaavat laitteet muodostavat asunnoissa yhdessä merkittävän kuorman. Näiden yhdistäminen samaan toiminnalliseen ryhmään mahdollistaa suuremman kuormansäätömahdollisuuden yhdessä muiden runsaasti sähköenergiaa vaativien laitteiden kanssa. (digitalStrom.)

### 5.3.7 Kehittäjät

digitalSTROM on avoin standardi, joten jokaisella on mahdollisuus kehittää omia sovelluksia, rakentaa oma laite tai tarjota palveluita. digitalSTROM tiedonsiirtotapa on suojattu patentilla, jotta tietoturva voidaan säilyttää. Kuitenkin käyttömenetelmät ovat digitalSTROM.org jäsenten tutkisteltavina. Omien sovellusohjelmien ja graafisen näkymän tekeminen dSS:lle on sallittua ja mahdollista. dSS tarjoaa selainpohjaisen sekä tekstipohjaisen rajapinnan. Kehittäjällä on laaja valikoima käytössä olevia työkaluja ja rajapintoja valittavanaan. Tämä tekee mahdolliseksi sekä pienten että monimutkaisten jaettujen sovellusten tekemisen. (digitalStrom.)

### 5.3.8 Tietoturva

Laitteet kommunikoivat toisilleen vain sähköverkon välityksellä. Signaalit eivät näy piirin ulkopuolelle, joten salakuuntelu piirin ulkopuolelta ei ole mahdollista. Signaalien lähetys ei perustu taajuusmodulaatioon, joten muiden PLC:tä ja taajuusmodulaatiota käyttävien laitteiden toiminta samassa piirissä ei häiritse toimintaa. (digitalStrom.)

Laitteita voidaan ohjata Internetin välityksellä. Internetin kautta toimimiseen tarvittavat funktiot ovat suunniteltu järjestelmiin sisälle ja jokainen laite sisältää yksilöllisen tunnisteen, hieman kuin IP- osoitteen. Funktiot ovat käytössä vasta, kun asennetaan digitalSTROM palvelin. Tämänkin jälkeen käyttäjä hallitsee datan näkyvyyttä. Kolmannelle osapuolelle tarjottavat tiedot ja oikeus reagoida ulkoiseen informaatioon ovat käyttäjän määriteltävissä. Kolmannen osapuolen laitteet eivät pysty ohjaamaan käyttäjän laitteita suoraan. Kolmannen osapuolen tarvitsee lähettää viesti dSS:lle, joka käsittelee viestin ja tekee toiminnan sen mukaan mitä käyttäjä on määritellyt. (digitalStrom.)



## 6 ADJUTANTTI – EKOLOGINEN KERROSTALO

Adjutantti on vuonna 2012 valmistunut asunto-osakeyhtiö Espoon Mäkkylässä. Adjutantin markkinoinnissa on vahvasti esillä ekologinen kaupunkiasuminen. Adjutantti on osa kaupunkiasumisen konseptia, jonka tarkoituksena on energiankulutuksen pienentäminen. Liikenneyhteydet, sijainti ja palveluiden läheisyys tekevät arkiasioden hoidosta helpompia ja vahvistavat ekologisen asumisen näkökulmaa. Edistykselliset tekniset ratkaisut tarjoavat mahdollisuuden ekologisempaan asumiseen. Konseptin kehitystyössä Suomessa mukana on ollut useita toimijoita kuten Skanska, ABB, KONE, BaseN, Fortum ja TTY. Adjutantti on kehityskohde, jonka järjestelmien toimivuutta ja käytettävyyttä tullaan seuraamaan sekä havainnoidaan järjestelmän vaikutusta energiankulutukseen.

### 6.1 Yleiskuvaus Adjutantista

Adjutantti on kahdeksankerroksinen asuinkerrostalo, jossa on yhteensä 42 huoneistoa. Adjutantissa on monenkokoisia asuntoja yhden hengen asunnosta perheasuntoon. Kahden ylimmän kerroksen asunnoissa on takkavaraus. Porrashuone on varustettu hissillä. Varastot, kuivaushuone, jätehuone, siivouskomero ja tekniset tilat sijoittuvat kellarikerrokseen sekä maantasokerrokseen.

Pysäköintipaikat sijaitsevat erillisessä pysäköintiyhtiössä. Neljä pysäköintipaikkaa on varustettu sähköauton latauspisteellä. Yksi sähköautojen latauspisteestä on varattu taloyhtiön käyttöön. Taloyhtiön käyttöön on hankittu yksi sähköauto vuodeksi, jota asukkaat voivat käyttää. Auton käytöstä peritään käyttökustannuksia vastaava korvaus.

### 6.2 Energiatehokkuus

Aurinkopaneelit Adjutantin katolla tuottavat sähköenergiaa yhteiseen käyttöön, kuten porraskäytävien valaistukseen ja sähköauton lataamiseen. Valaistuksessa on osittain hyödynnetty led-valaisimia ja porrashuoneen valaisimet ovat varustettu kerroksittain liiketunnistimilla. Aurinkopaneeleita on asennettu noin 120 m<sup>2</sup>. Nämä tuottavan sähköenergiaa arviolta 15000 kWh vuodessa.

Kone Oyj:n toimittamasta energiatehokkaasta hissistä saadaan energiaa syötettyä takaisin sähköverkkoon hissien liikkeessä alaspäin. Hissin valaistus on toteutettu ledeillä, joten valaistuksen sähkönkulutus on alhainen. Hissiin kuuluu järjestelmä, jolla yhdistetään rakennuksen ulko-oven ja hissien toimintoja.

Rakennus on suunniteltu vastaamaan vuoden 2010 alusta voimaan astuneita energiamääräyksiä, joten talossa on tehokas lämmön talteenottojärjestelmä ja laadukkaat ikkunat.

### 6.3 Huoneistokohtainen mittaus

Jokaiseen Adjutantin asuntoon on suunniteltu huoneistokohtainen, lähes reaaliaikainen, sähkön, veden ja lämmitysenergian kulutuksen seuranta- ja ohjausjärjestelmä. Kulutuksen seurantajärjestelmä on oma erillinen järjestelmä, josta tehdään erillinen sopimus taloyhtiön ja Fortum Markets Oy:n välille.

Lämmitysenergiaa mitataan jokaisesta asunnosta. Kaikki asunnon tilat eivät kuulu lämmitysenergian mittauksen piiriin. Lämpöenergian kulutuksen seuraamista ei suoriteta kylpyhuoneen, saunan ja vessan osalta. Ensimmäisessä kerroksessa saunoissa, kylpyhuoneissa sekä erillisvessoissa on sähköinen lattialämmitys, joiden käyttämä sähköenergia mitataan osaksi yhtiön sähkönkulutusta. Kahdeksannen kerroksen erillisvessoissa on sähköinen mukavuuslattialämmitys, jonka sähkönkulutus on osa yhtiön sähkönkulutusta. Muilta osin suoritetaan huoneistokohtaista lämmitysenergian mittausta.

Asunnon sähkölaitteiden ohjausta ja sähkönkulutuksen hallintaa helpottaa automaatiota hyödyntävä järjestelmä. Poistuttaessa asunnosta on mahdollista kytkeä kaikki valaistusryhmät pois päältä yhdestä kytkimestä. Samaten asuntoon tullessa saadaan sytytettyä samasta kytkimestä perusvalaistus. Toisella vastaavalla kytkimellä, kotona pois – kytkimellä, voidaan kytkeä pois päältä valaistusryhmien lisäksi myös keittiön liesi ja keittiön ohjatut pistorasiat, sekä ohjata huonetermostaatit pudotustilaan. Huonetermostaattien ohjaaminen pudotustilaan laskee huoneen ohjauslämpötilaa noin kahdella asteella. Lämpötilapudotusta ei tapahdu kylpyhuoneissa, saunoissa eikä erillisvessoissa. Painettaessa kytkin kotona – asentoon, lämpötilan ohjaus palautuu samaan tilaan kuin se oli ennen kytkimen painamista poissa – asentoon. Tämän lisäksi keittiön pistorasioihin kytketään sähkönsyöttö ja sytytetään perusvalaistus.

Kiinteistöön valitut vesikalusteet ovat vettä säästäviä. Jokainen asunnon vesipiste on liitetty mittaukseen. Vedenkulutuksen mittausta suoritetaan erikseen kylmälle ja lämpimälle käyttövedelle.

### 6.4 Mittausten esitys käyttäjälle

Jokaisen huoneiston ulko-oven läheisyydessä on kiinteä näyttö, josta voi havaita lyhyellä silmäyksellä eri mittauskohteiden kulutuksien tasoja. Näytössä esitetään veden-, sähkön-, ja lämmönkulutusta. Näyttö antaa nopeasti tietoa tämänhetkisestä tilanteesta ilman tarvetta käyttää erillisiä laitteita tiedon saamiseksi.

Asukas voi halutessaan seurata kulutustietoja tarkemmin verkkosivujen kautta. Verkkosivuilla annetaan tarkempaa tietoa kustakin mittauksesta yksilöidysti sekä myös mittausten historiatietoja.

Kappaleessa kahdeksan on käsitelty Adjutanttiin käyttöliittymää. Verkkosivujen ja ulko-oven läheisyydessä sijaitsevan kiinteän näytön toiminta on kuvattu tarkemmin samassa yhteydessä.

## 7 ÄLYKKÄÄN ASUNNON DEMONSTRAATIOLAITTEISTO

Adjutanttiin tulevaa toiminnallisuutta mallintava älykkään asunnon demonstraatiolaitteisto on erillinen kokonaisuus, joka on rakennettu Tampereen teknillisen yliopiston tiloihin. Demonstraatiolaitteiston tehtävänä on tarjota laiteympäristö kehitettävän järjestelmän toiminnan testaamiseen ja varmistamiseen mahdollisimman samankaltaisella teknisellä ratkaisulla kuin on Adjutantissa. Käyttöliittymien kehitys ei suoraan liity demonstraatiolaitteistoon, vaan demonstraatiolaitteistossa keskitytään pääosin teknisten osuuksien testaamiseen ja järjestelmän toiminnan varmistamiseen. Toinen käyttötarkoitus on mahdollistaa uusien laitteiden lisääminen ja ominaisuuksien kehitys sekä niiden testaaminen. Demonstraatiolaitteisto on kuvattu lähes kokonaisuudessaan kuvassa 7.1.

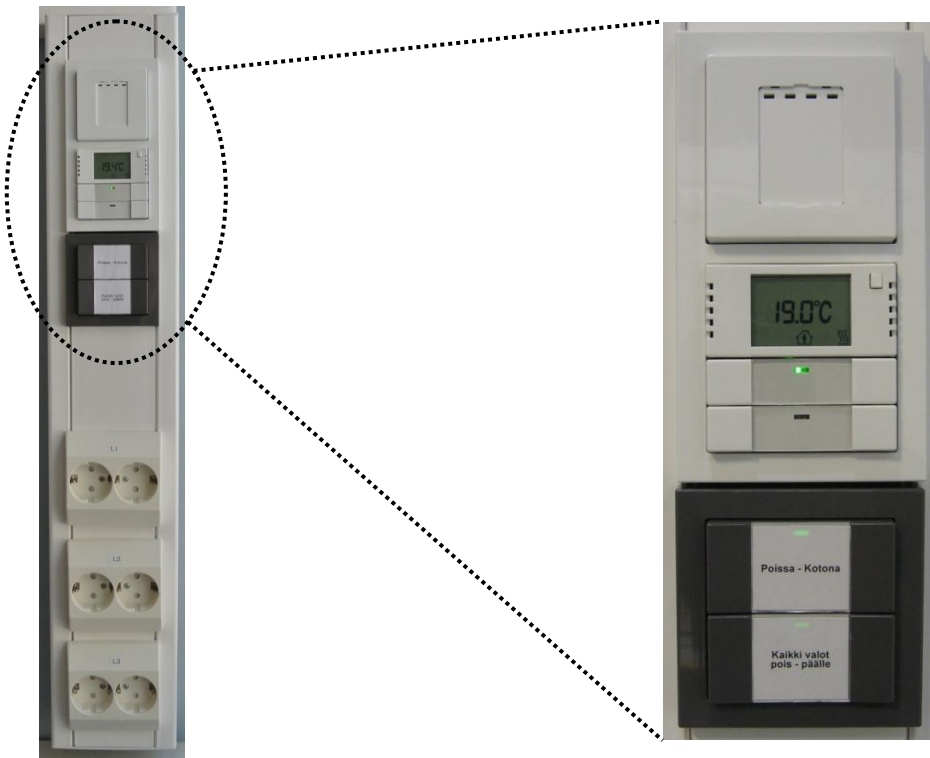


*Kuva 7.1. Demonstraatiolaitteiston kokonaiskuva*

Demonstraatiolaitteiston toteutus on pyritty toteuttamaan pieneen tilaan, yhteen telineeseen, josta on kuitenkin erotettavissa eri osakokonaisuudet. Mitattavat kohteet, kuten vedenkulutuspiste ja lämpöenergian mittauskohde, ovat testiympäristössä hajallaan. Kaikki mittarit, joidenkin mittareiden antureita lukuun ottamatta, on sijoitettu kuitenkin samaan telineeseen mittaustulosten seurannan ja laitteiden käyttämisen helpottamiseksi. Asukkaalle näkyviksi tarkoitetut laitteet on eritelty demonstraatiolaitteiston oikeaan yläreunaan ja tekniset ratkaisut on pyritty ryhmittelemään kokonaisuuksiksi.

## 7.1 Demonstraatiolaitteiston käyttö ja ympäristö

Asukkaan näkemää osuutta asunnossa vastaa demonstraatiolaitteistossa telineen oikeaan yläreunaan sijoitetut laitteet. Demonstraatiolaitteistoon asennettujen laitteiden määrä poikkeaa Adjutantien asuntoon sijoitettujen laitteiden määrästä. Demonstraatiolaitteistoon on asennettu olennaisimmat laitteet, joita tarvitaan toiminnallisuuden testaamiseen ja esittämiseen. Laitteiden yhdenmukaisuutta demonstraatiolaitteen ja Adjutantien välillä ei pidetty ratkaisevana asiana testauksen kannalta, joten vastaavuudesta ei pidetty täysin kiinni. Kuvassa 7.2 on esitetty demonstraatiolaitteiston laitteet, jotka kuvaavat asukkaalle näkyvää osuutta.



**Kuva 7.2.** *Demonstraatiolaitteiston osat, jotka kuvaavat asukkaalle näkyvää osuutta*

Ylimpänä on mitattavien kohteiden kulutusta indikoiva valosarja, jota kutsutaan ”liikennevaloiksi”. Tämä laite tullaan korvaamaan Adjutantissa kosketusnäyttöpaneelilla. Toinen ylhäältä luettuna on huonetermostaatti. Tämän avulla säädetään lämpötilan asetusarvoa sekä asetetaan lämpötilapudotuksen raja-arvot. Kolmas ylhäältä luettuna on

kaksiosainen painike. Ylempi painikkeen kytkin on ”Kotona-Poissa” kytkin, jolla kytkeään asunnossa palavat valot pois päältä, kun se painetaan asentoon ”Poissa”. Samalla katkaistaan sähkönsyöttö joiltain ennakoon määrätyiltä pistorasioilta, sekä asetetaan lämpötilapudotus toimintaan. Päinvastaiset toiminnot suoritetaan painamalla kytkin asentoon ”Kotona”. Demonstraatiolaitteistossa tätä kytkintä käytetään pistorasioiden ohjaamiseen ja lämpötilan pudotustoimintaan. Alimman kytkimen, ”Kaikki valot pois-päälle”, toiminta on vastaava kuin ylemmän kytkimen, mutta tällä ohjataan demonstraatiolaitteistossa pelkästään pistorasioita. Pistorasiat sijaitsevat demonstraatiolaitteistossa painikkeiden alapuolella. Demonstraatiolaitteistoon ei ole kytketty kiinteästi kulutusta aiheuttavia kohteita, kuten esimerkiksi valaisimia, joten kuormitusta saadaan aikaiseksi vain kytkemällä kuormaa pistorasioihin.

Veden kulutusta mitataan demonstraatiolaitteistoon sijoitetulla vesimittarilla. Veden virtaaminen mittarin läpi saadaan aikaiseksi aukaisemalla huoneessa sijaitseva vesihana. Vesihanasta on putkitettu linja vesimittarille, josta paluuputki johdetaan viemäriin. Veden virtausnopeutta voidaan säätää vesihanan asentoa muuttamalla. Vedellä ei ole oikeaa käyttötarvetta demonstraatioympäristössä. Veden kulutuksen mallintaminen todellisesta kulutuskohteesta ei ole oleellinen asia, vaan yleensä vedenkulutuksen mittaaminen ja esittäminen. Tämän vuoksi lämpimän käyttöveden mittausta ei suoriteta demonstraatiolaitteistolla, vaikka Adjutantissa mittausta tullessa suorittamaan sekä kylmän että lämpimän käyttöveden osalta.

Lämpöenergian kulutusta mitataan vesikiertoisesta lämpöpatterista, joka sijaitsee demonstraatiolaitteiston kanssa samassa tilassa. Mittariksi on valittu ultraäänilämpöenergiamittari, joka on sijoitettu suoraan demonstraatiolaitteiston telineeseen. Lämpöenergiamittarin anturit on asennettu lämpöpatterin meno- ja paluulinjaan. Lämpöpatteri toimii tilan yhtenä lämmittimenä. Tilan lämpötila riippuu patterin lisäksi myös ilmanvaihdosta sekä alakerrasta ja muista tiloista tulevasta lämpövirtauksesta. Tilan lattia on huonosti eristetty, jolloin alakerta lämmittää ilmaa demonstraatiolaitetilassa. Näiden vuoksi demonstraatioympäristössä ei voida suorittaa vertailukelpoisia mittauksia lämpöenergian käytön ja huonelämpötilan riippuvuuksista. Lämpötilan muuttaminen jollain välillä onnistuu demonstraatiolaitteiston ohjaamana, mutta mittauksien tulokset lämpöenergian määrän ja lämpötilan muutoksen välillä eivät välttämättä anna todellista kuvaa huoneen lämmitykseen vaadittavasta lämmitysenergiasta.

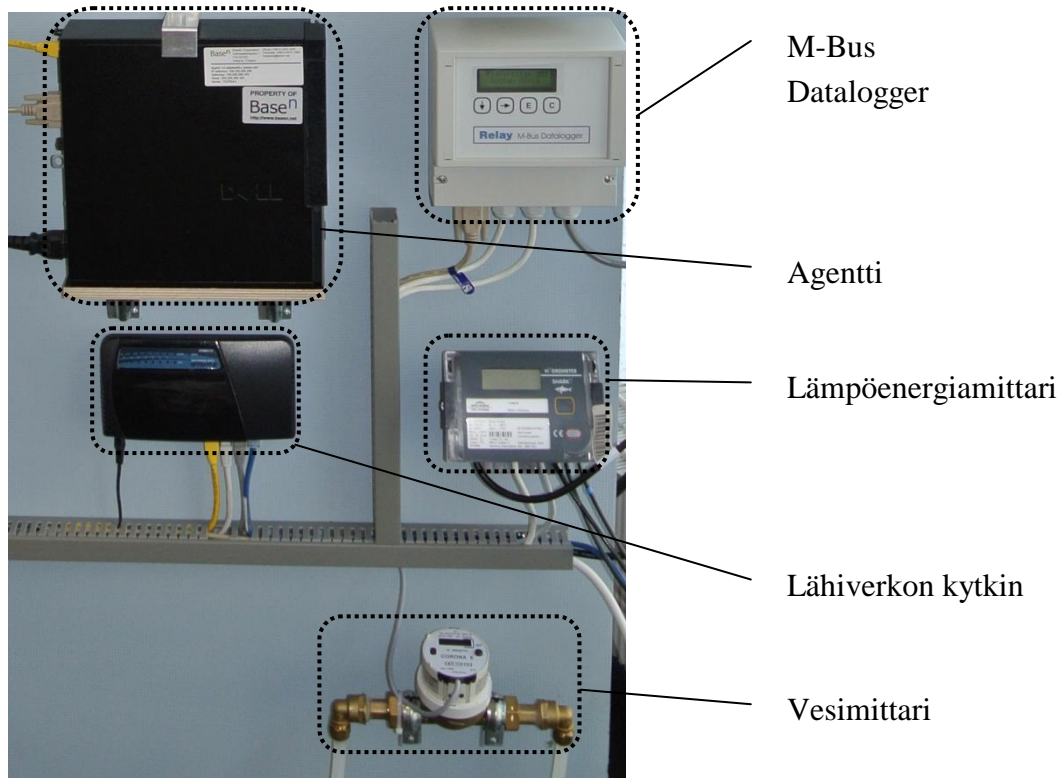
Sähköenergian kulutusta demonstraatiolaitteistossa mitataan useammalla laitteella. Sähkökeskukseen sijoitettu sähkömittari mittaa kokonaiskulutusta. Tämän lisäksi sähkökeskukseen on asennettu KNX-laitteita, jotka kytkevät kuormia sekä samalla mittaavat niiden sähkönkulutusta. Pistorasioita ohjaamaan on asennettu kytkinyksikkö energiamittauksella. Jokaisella pistorasialla on oma lähtönsä kytkinyksiköstä ja jokainen pistorasia on eri vaiheessa.

Isoimmat poikkeavuudet sähkömittauksen osalta demonstraatiolaitteiston ja Adjutantin välillä ovat paikalliset sähköenergiantuottajat, kuten aurinkopaneelit ja hissi. Myöskään sähköautoa ei ole kytketty demonstraatiolaitteistoon. Näiden lisäämistä de-

monstraatiolaitteistoon ei ole nähty toistaiseksi mielekkäänä työmäärän ja saavutettavaan hyötyyn nähden.

## 7.2 Mittarit ja laitteet

Demonstraatiolaitteistossa suoraan telineeseen kiinnitetyt mittarit ja laitteet on merkitty kuvaan 7.3.



**Kuva 7.3.** Suoraan telineeseen sijoitetut mittarit ja laitteet

Vedenkulutusta mitataan Flypper Corona E elektronisella vesimittarilla. Mittarissa on kaksi pulssiulostuloa ja M-Bus liityntä. Pulssiulostuloista ensimmäinen antaa pulssin joka 0,1 litran välein ja toinen antaa pulssin yhden litran välein. Pulssiulostulot ovat avoin kollektori tyyppisiä, joiden virtaa ei ole rajoitettu sisäisesti, vaan virta tulee rajoittaa ulkoisella kytkennällä. Maksimi virtapulssin aikana ei saa ylittää 27 mA. M-Bus liittymän kautta voidaan mittarista lukea muitakin tietoja kuin pelkkää kulutustietoa sekä myös muuttaa mittarin asetuksia. Demonstraatiolaitteistoon asennetussa mittarissa on kummallekin pulssiulostulolle omat johtimensa, kuten myös M-Bus liittymälle, joten kaikkia liittymöjä voidaan käyttää samanaikaisesti.

Vesikiertoisen lämmityspatterin antamaa lämmitystehoa ja lämmitysenergian määrää mitataan Sharky 773 ultraäänilämpöenergiamittarilla. Mittariin on asennettu optiokortit pulssilähdölle ja M-Bus tiedonsiirrolle. M-Bus- tiedonsiirtokortti toimii sarjaliikenne-rajapintana M-Bus- keskuksille ja M-Bus - protokollaa tukeville automaatiojärjestelmille. Kortilla on kaksinapainen riviliitin. Kytkennän napaisuudella ei ole

merkitystä, koska liitäntä on sähköisesti erotettu. Virrankulutus kortilla on yhden yksikökuorman verran eli 3,5 mA.

Pulssilähtökortti sisältää liitännät kahdelle pulssilähdölle, jotka voidaan määrittellä mittarin valmistajan tarjoamalla HYDRO-SET -ohjelman avulla. Oletusarvoisesti pulssilähtökortissa riviliittimen paikassa "A" on energiapulssilähtö ja mittarin näytöllä tämä vastaa kohtaa "Out1". Vesimäärän pulssilähtö on oletusarvoisesti riviliittimen kohdassa "B" ja tätä vastaa mittarin näytöllä kohta "Out2". Pulssilähdöt ovat avoin kollektori tyyppisiä, joiden maksimi virrankesto on 20 mA. Ulkoinen jännitesyöttö pitää rajata välille 3-30 VDC. Demonstraatiolaitteistossa käytetään oletusarvoja pulssilähtökortille.

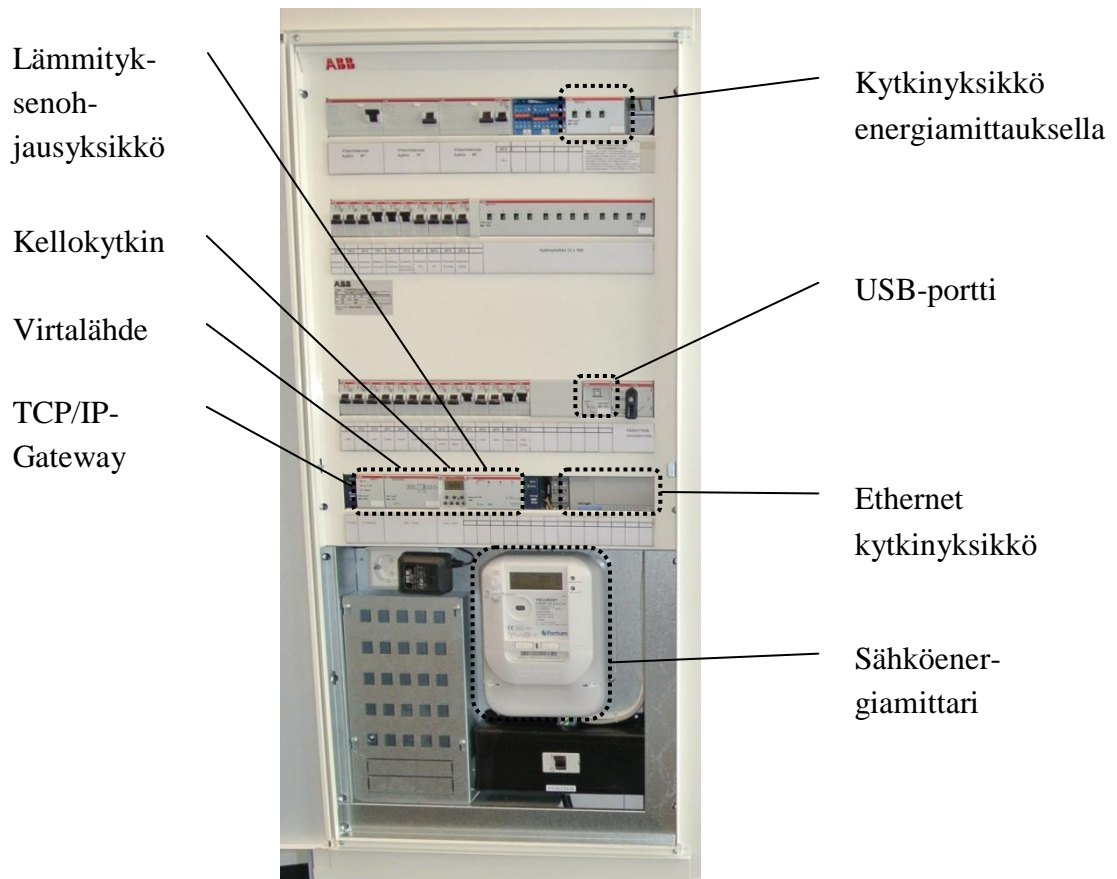
M-Bus Datalogger on laite, joka voi toimia M-Bus – keskusyksikkönä ja erillisenä näyttönä, johon on liitetty näppäimistö tai kaukoluentayksikkö. Laitteella voidaan lukea automaattisesti kaikkia siihen kytkettyjä mittareita ja tallentaa tieto sisäiseen muistiin. Näytöstä on luettavissa kaikkien mittareiden kulutuslukemat ja mittareiden asetuservoja on mahdollista muuttaa keskusyksiköltä.

M-Bus Datalogger voidaan kytkeä PC:hen RS-232C:n välityksellä. Laitteen ylempi DB9 – naarasliitin on tarkoitettu PC:lle ja alempi liitin on tarkoitettu modeemille. Vain toinen näistä voi olla kerrallaan käytössä.

Laitteen toiminta lepotilassa vastaa tasomuunninta, jossa esimerkiksi RS-232C signaalit muunnetaan M-Bus signaaleiksi ja päinvastoin. Kun laitteelle on kirjaututtu onnistuneesti, siirtyy laite käskytilaan. Laitetta voidaan ohjata käskytilassa suoraan PC:ltä tai modeemin välityksellä. Käskytilassa on mahdollista lukea mittareita, ladata kaikki kerääntynyt tieto, muuttaa asetuksia ja päivittää ohjelmistoa.

Sähkökaappiin on asennettu KNX-laitteita, sähkömittari ja Ethernet kytkinyksikkö. Kuvaan 7.4 on merkitty sähkökaapin sisältämiä laitteita.





**Kuva 7.4.** Sähkökaapissa sijaitsevat komponentit

Sähköenergiamittari on Echelonin valmistama. Sähköenergiamittarissa on monia toiminnallisuuksia, mutta niistä hyödynnetään demonstraatiolaitteistossa pääosin vain pulssiulostuloa. Sähköenergiamittarissa on pulssiulostuloa varten kaksi liitintä kytkentäkotelossa. Pulssiulostulo on fyysisesti ja sähköisesti erotettu mittarin muista osista turvallisuussyistä. Pulssisuhde on käyttäjän määritettävissä välillä 1 - 1000 pulssia/kWh. Pulssisuhteeksi on määritelty demonstraatiolaitteistossa 1000 pulssia/kWh.

Ethernet kytkinyksikkö sijaitsee sähkökaapin oikeassa reunassa sähkömittarin yläpuolella. Tällä laitteella on digitaalisia sisään- ja ulostuloja. Sisääntuloon voidaan määrittää laskuri, joka laskee sisääntulossa esiintyvien pulssien määrää. Laitetta voidaan lukea ja ohjata monella eri liitynnällä. Demonstraatiolaitteistossa tätä laitetta käytetään mittareilta saatavien pulssien laskemiseen ja yhteys ulospäin muodostetaan TCP/IP-protokollaa käyttäen.

KNX-komponenteista kuvaan on merkitty vain osa. Kytkinyksikkö energiamittauksella sisältää kolme potentiaalivapaata kanavaa ja erillisen nollan. Energiankulutusta on mahdollista mitata joko yksi- tai kolmivaiheisena 16 A:n asti. Mittausarvot voidaan lähettää sykleittäin, pyydettäessä tai jonkin tapahtuman seurauksena, kuten aikaperusteisesti tai kun jokin ennalta määritelty energiankulutustaso saavutetaan. Laitteelta saadaan energiamittauksen lisäksi luettua muita tietoja, kuten sähkön laatua kuvaavia mittaustuloksia, taajuutta, virta- ja jännitearvoja.

USB-portilla voidaan tehdä liityntä KNX-väylän ja PC:n välille. Liitynnän kautta voidaan ohjelmoida KNX-laitteita ja lukea näiden arvoja. Kommunikointiin tarvitaan ETS-ohjelmisto PC:lle.

Lämmityksen ohjausyksikkö on kytketty demonstraatiolaitteistossa ohjaamaan venttiiliä, joka on liitetty vesikiertoiseen lämpöpatteriin. Laitteessa on termoelektriset venttiilien ohjaimet 24 VAC/DC sekä 230 VAC- jännitteille. Venttiilin käyttöjännite demonstraatiolaitteistossa on 230 VAC.

Kellokytkintä voidaan käyttää KNX-toimilaitteiden kytkemiseen ja säätämiseen. Pienin kytkentäväli on yksi minuutti. Laitteessa on varakäyntiä varten paristo, jonka avulla laite pysyy ajassa kuusi vuotta. Demonstraatiolaitteistossa ei tällä hetkellä ohjata kellokytkimen kautta mitään laitetta.

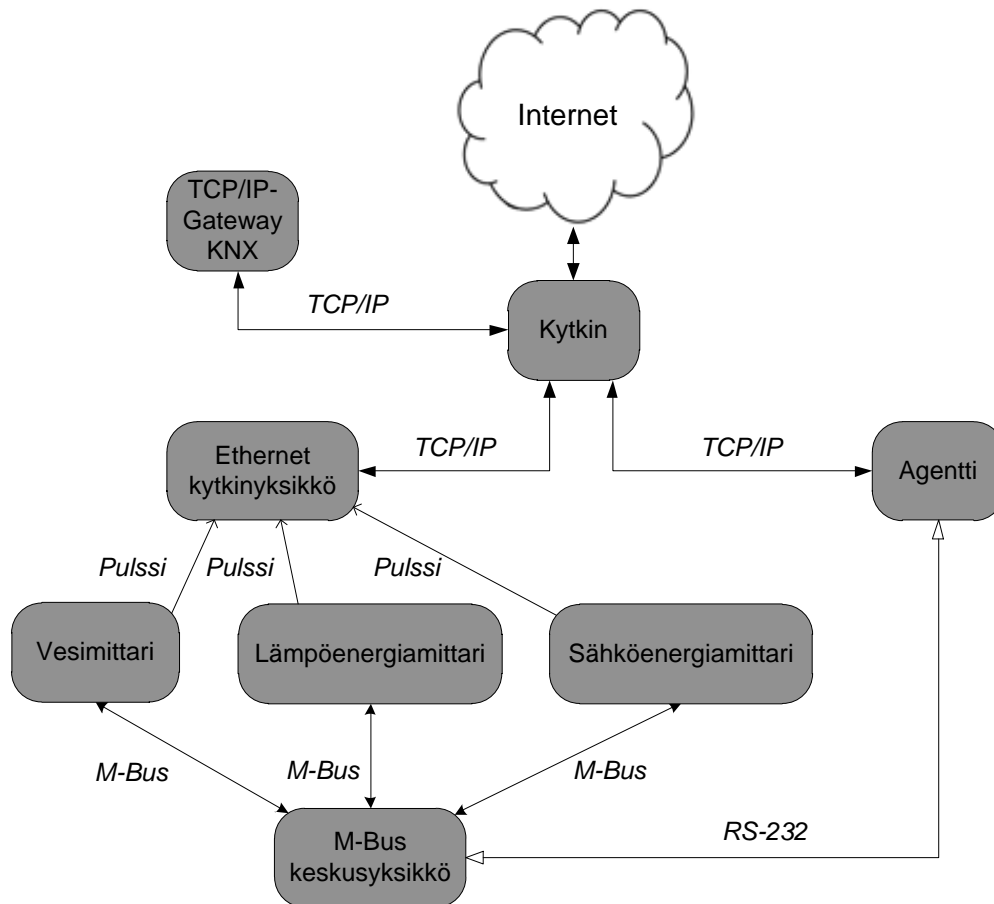
Virtalähde syöttää KNX-väylän tarvitsevan virran ja tuottaa 30 VDC- jännitteen. Virtalähteessä on sisäänrakennettu kuristin. Väylään laite liitetään väyläkaapeliliittimien kautta, kuten muutkin KNX-komponentit.

TCP/IP- Gateway muuntaa KNX-väylän tiedonsiirron TCP/IP verkkoon. Tämän laitteen avulla on mahdollista lukea ja ohjata kaikkia KNX-toimilaitteita etänä. Laite voi toimia myös linja- tai alueyhdistimenä.

### **7.3 Tiedonsiirto laitteiden ja verkkosivujen välillä**

Demonstraatiolaitteistossa mittareiden mittausdatat ja toimilaitteiden tilat kootaan yhteen agentille. BaseN:n palvelun kautta nähdään mittausdatat esitettyinä verkkosivuilla. Verkkosivuilla näytetyt mittaustulokset on haettu agentilta Internetin välityksellä.

Mittarit ja toimilaitteet eivät ole suoraan yhteydessä agenttiin. Kuvassa 7.5 on kuvattu laitteiden välisiä yhteyksiä.



**Kuva 7.5.** Laitteiden väliset tiedonsiirtoyhteydet

Agentti on kytkimen kautta yhteydessä Internetiin, KNX-laitteisiin ja Ethernet kytkinyksikköön. Tämän lisäksi agenttiin on kytketty M-Bus datatallennin sarjaväylällä. Sähköenergia-, vesi- ja lämpöenergiamittarit ovat liitetty Ethernet kytkinyksikköön digitaalisiin sisääntulolinjoihin, joilla voidaan lukea pulsseja mittareilta. Vesimittarista on liitetty molemmat pulssilähdöt Ethernet kytkinyksikköön. Samoin lämpöenergiamittarista pulssilähtökortin molemmat lähdöt on kytketty Ethernet kytkinyksikön digitaalisiin sisääntuloihin. Avoimen kollektorilähdön vuoksi vesimittarin pulssilähtöihin on kytketty ylös- ja alaspäin suuntaiset pulssilähdöt. Pulssilähdön lisäksi vesimittarista ja lämpöenergiamittarista on M-Bus liityntä kytketty M-Bus datatallentimeen.

Demonstraatiolaitteiston mittaustulokset on nähtävillä BaseN:n tarjoaman verkkosivuston kautta. Nämä sivut eivät vastaa Adjutanttiin tulevia sivuja, vaan nämä sivut on tarkoitettu demonstraatiolaitteiston toiminnan seuraamiseen ja palvelemaan kehitystyötä. Tämän vuoksi mittaustietojen ja toimilaitteiden tilatietojen esitysmuodot poikkeavat Adjutanttin sivujen esitysmuodosta.

## 7.4 Kehitysmahdollisuudet

Demonstraatiolaitteisto soveltuu hyvin uusien ominaisuuksien kehittämiseen ja testaamiseen joustavan rakenteensa johdosta. Muutoksia voidaan toteuttaa järjestelmään hel-

posti, koska demonstraatiolaitteisto on täysin eriytettävissä ympäristöstään, eikä se ole kytköksissä mihinkään ulkopuoliseen järjestelmään tai toimintaan.

Demonstraatiolaitteisto mahdollistaa teknisiltä ratkaisuiltaan kahdensuuntaisen tiedonsiirron. Tällä hetkellä demonstraatiolaitteistosta vain luetaan mittaustuloksia eikä ohjauksia suoriteta. Verkkosivujen kautta voitaisiin myös ohjata laitteiden toimintaa. Tämä mahdollistaisi esimerkiksi lämpötilan laskemisen tai jonkin laitteen kytkemisen päälle verkkosivujen kautta. Sähköverkon kuormituksen tasauksessa tällaiset ominaisuudet voivat tarjota merkittävää hyötyä.

Tulevaisuudessa loppukäyttäjä voinee maksaa sähköstään tuntikohtaisen hinnoittelun mukaan. Automaatioratkaisut voivat säästää loppukäyttäjän sähkökustannuksia siirtämällä laitteiden käyttöaikaa edullisemmalle tunnille. Esimerkki tästä voisi olla pyykinpesukoneen käytön siirtäminen eteenpäin, kunnes ollaan edullisemmassa tunti-hinnassa.

Tutkimusta loppukäyttäjän kiinnostavuudesta teknisiä ominaisuuksia kohtaan ei demonstraatiolaitteistolla voida kuitenkaan toteuttaa. Samaten käyttöliittymien vaikutusta loppukäyttäjän käyttäytymiseen ei voida laitteiston erillisyyden takia tutkia.

## **8 ADJUTANTIN ASUKKAAN KÄYTTÖLIITTYMÄNÄKYMÄT**

Tässä luvussa esitellään Adjutantin asukkaiden käytössä oleva verkkosivupohjainen käyttöliittymä sekä huoneistokohtaiset laitteet, jotka ovat olennaisia energiankulutuksen hallinnassa. Esitetyt kuvamateriaalit on saatu Adjutantista ennen sen valmistumista, joten lopulliset toteutukset saattavat poiketa tässä esitetystä. Myöskään kaikkea toiminnallisuutta ei ole voitu tässä kuvata lyhyen testausjakson vuoksi, mutta pääpiirteet voidaan esittää saatujen testien pohjalta.

Kuvia on jouduttu rajaamaan sopiviksi diplomityöhön. Tämän vuoksi kaikissa kuvissa ei näy kokonaisuutta vaan esitettäväksi tarkoitetut tärkeimmät kohdat. Kuvat ovat kaikki peräisin Adjutantista tai verkkosivupohjaisesta käyttöliittymästä, joten kuviin ei ole erikseen merkitty lähdettä.

### **8.1 Verkkosivupohjainen käyttöliittymä**

Jokaisen huoneiston kulutustietoja voi tarkkailla verkkosivujen kautta. Asukas kirjautuu verkkosivuille huoneistokohtaisesti. Verkkosivujen etusivu on esitetty kuvassa 8.1.



**Kuva 8.1.** Adjutantin verkkosivujen päänäkymä

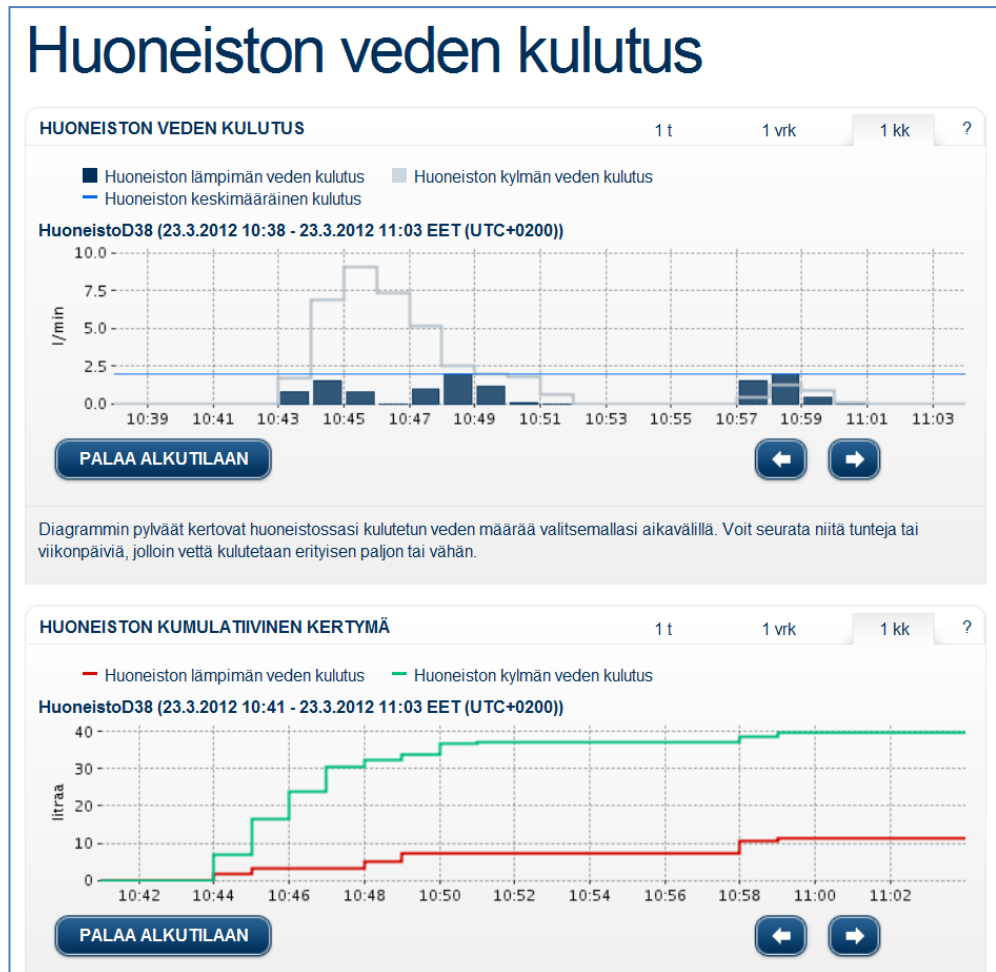
Päänäkymässä on esitetty ”nopeusmittareiden” avulla asuntokohtaiset hetkelliset kulutukset mitatuista kohteista: sähköenergia, vedenkulutus ja lämpöenergia. Tarkempi kuva ”nopeusmittareista” on esitetty kuvassa 8.2. Arvot mittareissa kuvaavat tilannetta, jossa kulutus on suurta jokaisessa mitattavassa kohteessa. Vastaava tilanne saattaa syntyä, kun sauna on lämpiämässä ja käydään suihkussa. Mittarin neula antaa suuntaa kulutuksen suuruudelle. Jos kulutus on suurta, neula kiertyy punaiselle alueelle. Vihreällä alueella hetkellinen kulutus on pientä. Keskellä nopeusmittarin asteikkoa on viiva, joka osoittaa alueen keskikohdan. Vedenkulutusta kuvaavan ”nopeusmittarin” alapuolella oleva luku kuvaa hetkellistä yhteiskulutusta lämpimän-, että kylmän käyttöveden osalta. Muiden mittareiden alapuolella olevat luvut antavat hetkellisen mittausravon kyseisestä suureesta lukuarvona. Jokaisen ”nopeusmittarin” alapuolella on esitetty kuluvan vuorokauden kulutus sekä keskimääräinen kulutus.



**Kuva 8.2.** Kulutusta esittävät "nopeusmittarit".

Päänäkymästä nähdään myös taloyhtiökohtaiset mittaustulokset. Sivun oikeassa laidassa on esitetty kuukausikulutus kiinteistösähkön, veden ja lämmön osalta. Näiden alapuolella on linkit, joista voidaan tarkastella aurinkopaneeleiden tuottoa, sähköauton tilaa ja hissien kulutustietoja. Taloyhtiökohtaista kulutusta voidaan seurata tarkemmin avaamalla sivun ylälaidassa esitetty Taloyhtiö- välilehti. Muissa välilehdissä on esitetty ohjeet sivuston käyttämiseen ja viimeisessä välilehdessä vinkkejä energiatehokkuuteen vaikuttavista asioista.

Tarkempaa tietoa mittauskohteesta saa valitsemalla sitä vastaavan linkin sivun ylälaidasta. Haluttaessa tarkastella veden kulutusta tarkemmin, saadaan Vesi- linkistä klikkaamalla esiin kuvan 8.3 mukainen näkymä.



**Kuva 8.3.** Veden kulutus huoneistossa.

Veden kulutuksen seurantajaksoa voidaan vaihtaa sivun oikeasta ylä laidasta tuntiin, vuorokauteen tai kuukauteen. Kuvaajaa voidaan siirtää nuolinäppäimillä valitun seurantajakson verran eteenpäin tai taaksepäin. Kuvaajan lähentäminen onnistuu myös maalausperiaatteella.

Kuvan ylemmässä osassa on esitetty huoneiston veden kulutusta sekä kylmän että lämpimän käyttöveden osalta. Kuvan esittämä tilanne havainnollistaa tilannetta, missä saavutaan asuntoon. Ensimmäiseksi asuntoon tulija käy vessassa. Tämä aiheuttaa sekä kylmän että lämpimän käyttöveden kulutusta alkaen ajanhetkestä 10:43 ja kestäen noin kolme minuuttia kello 10:46 asti. Hetkeä myöhemmin, kello 10:47 alkaen, vettä käytetään kahvin valmistamiseen. Kuvaajan lopussa on vielä pieni kulutus, joka aiheutuu kahvinkeitin ja mukin huuhtelusta.

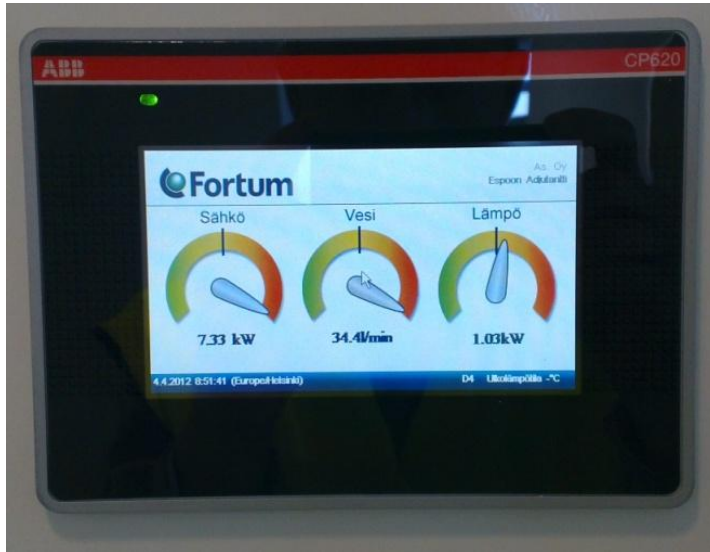
Kuvan alemmasta osasta nähdään toinen kuvaaja, joka esittää vedenkulutuksen kumulatiivista kertymää. Kuvaajassa on eritelty kylmän ja lämpimän käyttöveden kertymä.

## 8.2 Huoneistokohtaiset laitteet

Adjutantin jokaisessa huoneistossa on kosketusnäyttö, josta voi seurata kulutustietoja sähkön veden ja lämmön osalta. Kosketusnäyttö on kiinteästi asennettu ja sen saavutet-



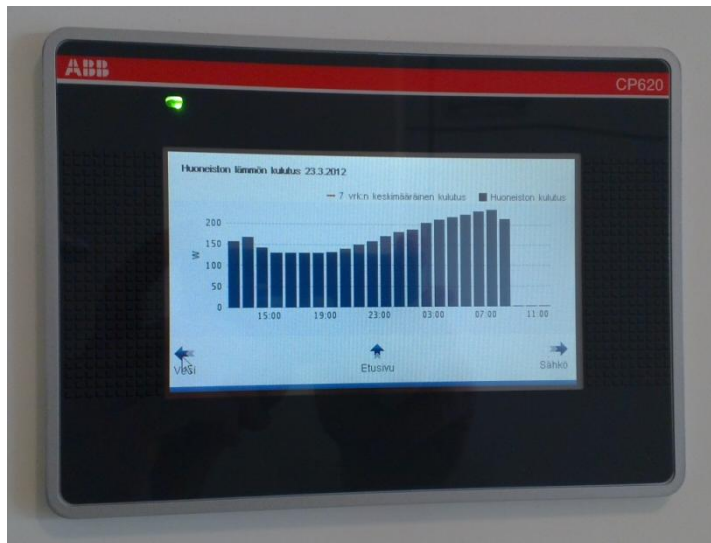
tavuus on hyvä sijoituskohdan vuoksi. Kosketusnäyttöä ei tarvitse varta vasten mennä käyttämään katsoakseen kulutustilanteen, vaan sen näkee aina oltaessa laitteen läheisyydessä. Kosketusnäytön käyttäminen on tämän vuoksi vaivatonta. Kosketusnäyttö on esitetty kuvassa 8.4.



**Kuva 8.4.** Huoneistokohtainen kosketusnäyttö

Kosketusnäytössä on esillä samat ”nopeusmittarit” kuin verkkosivuillakin. Kosketusnäytön kautta saadaan nopeasti yleiskuva hetkellisestä tilanteesta. Kosketusnäytöllä ei esitetä kaikkia samoja tietoja kuin verkkosivuilla. Verkkosivut on tarkoitettu antamaan tarkempaa ja syvällisempää tietoa kulutuksesta ja keinoja kulutukseen vaikuttamisesta, kun kosketusnäytön on tarkoitettu tulevan osaksi jokapäiväistä toimintaa.

Vaikka kosketusnäyttö on tarkoitettu enemmän yleiskuvan antamiseen kuin tarkempaan kulutuksen tutkimiseen, voidaan kosketusnäytöllä näyttää historiatietoja. Kuvassa 8.5 on historiaa esitetty lämmitysenergian käytöstä pylväsdiagrammimuodossa.



**Kuva 8.5.** Kosketusnäytöllä historiatietoja lämmitysenergian käytöstä

Kosketusnäytöltä saadaan näkyviin myös muiden mittauskohteiden historiatietoja.

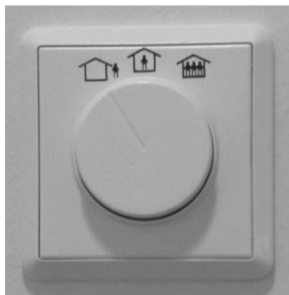
Demonstraatiolaitteiston kohdalla esiteltyt ”Poissa-Kotona” ja ”Kaikki valot pois-päälle” kytkimien toiminnot on Adjutantissa yhdistetty yhteen kytkimeen. Kytkimen kolme tilaa on esitelty kuvassa 8.6.



**Kuva 8.6.** Huoneistokohtaisen kytkimen kolme eri asentoa ilmaistaan kytkimessä olevan ledin avulla.

Kytken tilaa vaihdetaan painamalla kytkintä. Vihreä valo ilmaisee tilan, jota käytetään silloin, kun asunnossa ollaan paikalla. Vaihdettaessa kytkin asentoon, jossa punainen valo palaa, saatetaan asunto tilaan, jota on tarkoitettu käytettäväksi siinä tilanteessa, että asunnosta poistutaan väliaikaisesti. Tällöin sammutetaan esimerkiksi valot, mutta lämpötilanpudotustoimintoa ei käytetä. Painettaessa kytkintä yhtäjaksoisesti noin viiden sekunnin ajan kytkimen led sammuu. Tätä tilaa käytetään tilanteessa, jossa asunnosta ollaan poissa pidempiä aikoja. Huoneiston lämpötilan asetusarvoa pudotetaan ja sähköt katkaistaan valoilta ja joiltakin pistorasioilta.

Ilmastoinnin säätö suoritetaan erillisellä ohjaimella. Kuvassa 8.7 olevan ilmastoinnin ohjauskytkimen käyttö tapahtuu kytkintä pyörittämällä.



**Kuva 8.7.** Ilmastoinnin ohjaus

Ilmastointia on mahdollista ohjata kolmeen eri asentoon. Kun asunnossa ei olla paikalla tai muuten halutaan ilmastointi mahdollisimman pienelle, pyöräytetään kytkin vasemmanpuoleisimpaan asentoon. Normaaleissa olosuhteissa, kun asunnossa ollaan paikalla, voidaan olettaa keskimmäistä asennon olevan sopivin. Ilmastoinnin tehostamiseksi pyöräytetään kytkin oikeanpuoleiseen asentoon.

## 9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Palaute energiankulutuksesta on välttämätöntä, jotta voidaan muuttaa käyttäytymistä energiankulutusta vähentäväksi. Toimiva palaute muodostuu useista tekijöistä. Tekniikoiden ja teknologioiden avulla on mahdollista antaa käyttäjälle tietoa energiankulutuksesta. Palautteen muoto ja sisältö, sekä miten käyttäjään saadaan kontakti, on hyvin keskeisessä osassa toimivaa palautetta.

Tutkimusten pohjalta voidaan olettaa suoran palautteen olevan tehokas keino vähentää energiankulutusta. Suora palaute tulisi saada vaivattomasti ja nopeasti sekä helposti ymmärrettävässä muodossa. Suora palaute ei ole kuitenkaan sovelias tilanteeseen, jossa pitäisi arvioida pidemmän aikavälin muutoksia. Epäsuora palaute, joka koostetaan pidemmän aikavälin mittauksista antaa kuvaa energiankulutuksen kehittymisestä. Pidemmän aikavälin tarkastelussa voidaan havaita esimerkiksi lisäeristyksen vaikutus energiankulutukseen. Historiatietoon vertaaminen on osoittautunut tehokkaaksi palautteen muodoksi. Suoran ja epäsuoran palautteen yhdistelmä, jossa saadaan palautetta hetkellisestä tilanteesta sekä pidemmän aikavälin kehityksestä luo kattavan kokonaisuuden palautteelle ja mahdollistaa tehokkaan tavan pienentää energiankulutusta.

Pelkästään yksinkertaisen mittarin antamalla suoralla palautteella on saavutettu tutkimuksissa energiansäästöjä. Mittarin näytön käytettävyydellä ja mittausten esittämistavalla näytössä on vaikutuksensa. Mittareista erilliset näytöt ovat yleistyneet ja niitä on saatavilla monilta valmistajilta. Näytöissä tulisi esittää vähintään hetkellinen kulutus, kustannukset ja historiatiedot.

Epäsuoralla palautteella on saavutettu merkittäviä energiansäästöjä sähkönkulutuksessa hyvin yksinkertaisilla toimilla. Sähkölaskun lähetysvälin lyhentäminen kahteen kuukauteen neljännesvuodesta ja laskun pohjautuminen todelliseen kulutukseen arvion sijaan, on vaikuttanut ihmisten tietoisuuteen energiankulutuksesta ja vähentänyt energiankulutusta huomattavasti. Sähkölaskuun liitetty vertailu historiatietoihin laski vielä lisää energiankulutusta.

Tiedotuksilla ja esitteillä ei ole havaittu olevan vaikutusta energiankulutuksen vähentämiseen. Näitä pidetään liian yleisinä. Ihmiset haluavat yksilöllistä tietoa kulutuksestaan ja mahdollisuudesta vaikuttaa siihen.

Internet-pohjainen palaute antaa monenlaisia mahdollisuuksia tiedon esittämiseen. Reaaliaikaisesta Internet-pohjaisesta järjestelmästä voidaan saada tietoa senhetkisestä kulutuksesta sekä verrata nykyistä kulutustasoa historiatietoihin ja mahdollisesti muihin vertailukohteisiin. Tutkimuksia aiheesta on vielä vähän, mutta järjestelmät ovat yleistymässä. Monessa tapauksessa Internet-pohjaisen palautteen katsominen ei ole vaivatonta, koska se vaatii esimerkiksi tietokoneen tai muun laitteen käyttämistä. Palaut

teen saamiseksi on tehtävä monia toimia, kuten esimerkiksi käynnistettävä tietokone, avattava verkkosivu ja kirjauduttava sisään. Näiden toimien suorittaminen vaatii enemmän aikaa kuin erillisen laitteen katsominen, jossa tiedot energiankäytöstä ovat heti nähtävillä ja antavat näin palautteen välittömästi. Tämän takia Internet-pohjaisen palautteen lisäksi on hyvä olla erillinen laite, josta nähdään palaute heti. Erillisestä laitteesta voidaan nähdä poikkeustilanteet nopeasti. Poikkeustilan tarkempi selvitys on helpompi esittää Internet-pohjaisesta palautteesta, jossa tietoja voidaan esittää enemmän ja kattavammin.

Erilaisten palautteiden vaikutus vaihtelee niiden tehokkuuden ja myös pysyvyyden osalta. Tutkimuksissa palautetta on annettu suhteellisen lyhyitä aikoja. Palautteen loputtua alkaa myös käyttäytyminen palautua entiselleen. On havaittu, että vähintään kolme kuukautta kestäväällä palautteella on ollut pysyviä vaikutuksia käyttäytymiseen. Voidaan ajatella, että tässä ajassa ehtii muodostua kuva toimien vaikutuksesta ja toimista syntyy osa jokapäiväistä toimintaa.

Motivaatioteoriassa yksi osa on tavoitteiden asettaminen. Tavoitteiden asettaminen on hyvin hankalaa, jos palautetta ei saada. Tällöin motivaatio väistämättä laskee. Tärkeää olisikin saada palautetta jatkuvasti, jolloin palautteen saaminen ja siihen reagoiminen muodostuu osaksi jokapäiväistä suorittamista.

Adjutantissa palautetta saadaan monipuolisesti. Välitöntä palautetta saadaan huoneistokohtaisesta kosketusnäytöstä hyvin vaivattomasti. Kosketusnäytöstä voidaan tarkastaa myös historiatietoja. Tämä on mielekästä, jos halutaan vain nopeasti tarkistaa onko jotain poikkeavuutta sattunut, eikä niinkään haluta tarkempaa analyysiä kulutus-historiasta. Verkkosivusto tarjoaa mahdollisuuden tarkempien historiatietojen tarkasteluun. Historiatietojen seuraaminen verkkosivujen kautta on mielekkäämpää kuin kosketusnäytöltä. Lisäksi verkkosivustolla tarjotaan tietoa taloyhtiön energiankulutuksesta ja – tuotosta. Verkkosivusto tarjoaa oivan tavan tarkistaa pidemmän aikavälin muutosta ja tätä kautta omien toimien pidempiaikaista vaikutusta energiankulutukseen. Sähköauton varaaminen asukkaan käyttöön tapahtuu myös verkkosivujen kautta. Houkutus samalla katsoa omat tiedot energiankulutuksesta verkkosivustosta kasvaa, koska vaiva sen tutkimiseen ei ole enää kynnyskysymys.

Energiansäästömahdollisuudet tulevat toiminnallisuuksien kautta. Yhä useampien toiminnallisuuksien yhdistäminen antaa potentiaalia energiansäästöön. Näistä esimerkkejä ovat lämmityksen tai jäähdytyksen ohjaaminen pois päältä ikkunan auetessa, valaistuksen säätö ajan, tilanteen ja valoisuuden mukaan ja sälekaihtimien ja aurinkosuojien ohjaamien lämpötilojen ja ajan mukaan sekä huonekohtainen lämpötilan säätely, jossa huomioidaan aika- ja lämpötilaprofiilit yhdessä muiden toiminnallisuuksien kanssa. Mahdollisuuksia kasvattaa energiansäästöpotentiaalia on useita, mutta merkittävintä on useamman toiminnon integrointi järkevästi toimivaksi kokonaisuudeksi. Adjutantissa on toteutettu joitakin toiminnallisuuksia, kuten ”Kotona-Poissa” kytkin. Tämä ohjaa lämmitystä ja kytkee valoja sekä joitakin pistorasioita. Adjutantissa ilmastoinnin ja huoneiston välillä ei ole automaattista toiminnallista yhteyttä. Esimerkiksi ”Kotona-Poissa” kytkin ei ohjaa ilmastointia huoneistossa. Asukkaalla on oltava tietämys miten

järjestelmä toimii. Liiallinen toiminnallisuuden piilottaminen saattaa antaa mielikuvan asukkaalle, että hän ei hallitse toimia. Tämä saattaa laskea asukkaan mielenkiintoa hyödyntää järjestelmän ominaisuuksia. Asukas haluaa kokea oman asuntonsa turvalliseksi ja miellyttäväksi paikaksi, jossa hän hallitsee yksityisyyttään. Jos automaatio ohjaa liikaa asunnon toimia, voi asukas kokea tämän yksityisyyttä loukkaavaksi.

Vaikka vertailua muiden asukkaiden kanssa energiankulutuksesta voitaisiinkin suorittaa, ei sen toteuttaminen ja seuraukset välttämättä ole toivotut. Kulutustietojen vertailu Adjutantissa asukkaiden kesken ei ole yksiselitteistä, koska pelkästään huoneistokohtaiset rakenteelliset eriävyydet aiheuttavat erilaisia mittaustuloksia, joita ei voida luotettavasti saattaa vastaamaan toisiaan. Vertailemisen tekeminen tasapuoliseksi pelkästään teknisten eroavaisuuksien osalta on haastavaa, mutta mahdottomaksi tämän tekee asukkaiden eroavaisuuksien määrittely ja niiden huomioiminen vertailua tehtäessä. Ei voida luotettavasti verrata esimerkiksi eläkeläispariskunnan kulutusta lapsiperheen kulutukseen ja sanoa, kumpi näistä talouksista kuluttaa suhteessa enemmän energiaa. Näiden seikkojen vuoksi vertaileminen ei ole juurikaan mahdollista ja vertailu saattaa aiheuttaa toisille mielipahaa.

## LÄHTEET

Abowd, G.D., Mynatt, E.D. 2000. Charting past, present, and future research in ubiquitous computing. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 7, 1, pp.29-58.

Aizo [WWW]. [viitattu 14.6.2011].

Saatavissa: <http://www.aizo.com/en/company/in-a-few-words.php>

Aura, S., Horelli, L., Korpela, K. 1997. *Ympäristöpsykologian perusteet*. Porvoo, Helsinki, Juva, WSOY. 197 s.

Brandon, G., Lewis, A. 1999. Reducing household energy consumption: A qualitative and quantitative field study. *Journal of Environmental Psychology* 19, pp.75-85.

Darby, S. 2006. The Effectiveness of feedback on energy consumption. A review for Defra of the literature on metering, billing and direct displays. *Change*, 22, April, pp. 33-35.

digitalStrom [WWW]. [viitattu 14.6.2011]

Saatavissa: <http://www.digitalstrom.org>

Edward B., Driscoll, Jr. The history of X10 [WWW]. [viitattu 16.5.2011].

Saatavissa: [http://home.planet.nl/~lhendrix/x10\\_history\\_english.htm](http://home.planet.nl/~lhendrix/x10_history_english.htm).

EuroX10. Transmission theory of X-10 signals [WWW]. [viitattu 18.5.2011]

Saatavissa: <http://www.eurox10.com/Content/X10SignalTheory.htm>

Ford, Martin E. 1992. *Motivating humans: goals, emotions, and personal agency beliefs*. Yhdysvallat, SAGE Publications Ltd. 302 p. ISBN 0-8039-4528-0 (cloth). ISBN 0-8039-4529-9 (pbk.).

Gudbjerg, E., Gram-Hanssen, K. 2006. Standby consumption in private homes socio-economic studies, mapping and measuring reduction? What works: campaigns or hardware solutions? *International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting, EEDAL '06*, United Kingdom, London, June 21-23, 2006.

Henryson, J., Håkansson, T., Pyrko, J. 1999. Energy efficiency in buildings through information – Swedish perspective. *Energy Policy* 28, 3, pp. 169-180.

Heylighen, F. 1992. A cognitive-systemic reconstruction of maslow's theory of self-actualization. *Behavioral Science* 37, 1, pp. 39-58.

ISO/IEC 9241-14. 1998. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDT)s - Part 14 Menu dialogues. 57 s.

Iyer, M., Kempton, W., Payne, C. 2005. Comparison groups on bills: Automated, personalized energy information. *Energy and Buildings*, 38, 8, pp. 988-996

Jeannet H. van Houwelingen, W. Fred van Raaij. 1989. The Effect of Goal-Setting and Daily Electronic Feedback on In-Home Energy Use. *Chicago Journals* 16, 1, pp. 98-105.

Jokela T., Iivari N., Matero N., Karukka, M. 2003. The standard of user-centered design and the standard definition of usability: analyzing ISO 13407 against ISO 9241-11. *ACM*, 46, pp. 53-60.

KNX. [WWW]. [viitattu 5.7.2011].

Saatavissa: <http://www.knx.org/knx-standard/configuration-modes/>

KNX Finland ry. [WWW]. [viitattu: 5.7.2011].

Saatavissa: [www.knx.fi](http://www.knx.fi)

Krempelsauer E. 2009. Open Standards for the Automated Home. *Elektor* 35, 396, pp. 20-25

Käsikirja asuntojen ja rakennusten ohjauksiin – KNX Perusperiaatteet. 2006. 5. korjattu painos. Frankfurt, ZVEI – Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V. 194 s.

McGonigal J. Microprocessor History [WWW]. [viitattu 16.5.2011].

Saatavissa: [www.xnumber.com/xnumber/microprocessor\\_history.htm](http://www.xnumber.com/xnumber/microprocessor_history.htm)

Microprocessor History Foundations. Pico Electronics [WWW]. [viitattu 16.5.2011]

Saatavissa: <http://www.spingal.plus.com/micro/>

Mountain D. 2006. The impact of real-time feedback on residential electricity consumption: the Hydro One pilot. Ontario, Mountain Economic Consulting and Associates Inc.

Nickel J. 2009. Home Automation Standards. *Elektor* 35, 396, pp. 14-18

Nielsen, Jakob. 1993. Usability engineering. San Francisco (CA), Academic Press. 362 p. ISBN 0-12-518405-0, ISBN 0-12-518406-9.

Nissinen, A., Alku, P., Heine, P., Heiskanen, J., Korhonen, M-R., Koski, P., Laitila, P., Lappi, R., Laukkanen, P., Lehtikainen, S., Lehtonen, M., Wings, S. 2008. Kotien reaaliaikainen sähkönkulutuksen mittaaminen ja havainnollistaminen. Helsinki, Suomen ympäristökeskus, HEAT'07 projektin tulokset. 99 s.

Norman, D. A. 1998. The design of everyday things. Fourth printing. London, MIT. 257 p.

Nummenmaa, T., Takala, M., Wright, J. v. 1987. Yleinen psykologia kokeellisen tutkimuksen näkökulmasta. 1.-3. painos. Hki, Otava. 352 s.

Owen, G., Ward, J. 2006. Smart meters: commercial, policy and regulatory drivers. London, Sustainability First.

Saatavissa: <http://www.sustainabilityfirst.org.uk/docs/smart%20meters%20pdf%20version.pdf>

Pietikäinen, A. 1999-2002. Sosiaalipsykologian peruskurssi [WWW]. Sosiologian ja sosiaalipsykologian laitos. [viitattu 7.9.2011].

Saatavissa: <http://www.uta.fi/tyt/avoin/verkko-opinnot/sosiaalipsykologia/lewin1.html>

Redström, J. 2001. Designing Everyday Computational Things. Ph. D. Thesis. Göteborg. Göteborg University, Department of Informatics. 244 p.

Roberts, S., Humphries, H., Hyldon, V. 2004. Consumer preferences for improving energy consumption feedback. A report to Ofgem. Centre for Sustainable Energy. 43 p.

Shackel, B., Richardson, S. 2008. Human factors for informatics usability. Cambridge University Press. 438 p. ISBN 0521067308 9780521067300.

Timers Plus LLC. How X10 Works [WWW]. [viitattu 14.6.2011].

Saatavissa: <http://www.smarthomeusa.com/info/x10theory/x10theory/#theory>

Ueno, T., Inada, R., Saeki, O. & Tsuji, K. 2006. Effectiveness of an energy-consumption information system for residential buildings. Applied Energy, 83, pp. 868-883.

Wilhite, h., Ling, R. 1994. Measured energy savings from a more informative energy bill. Energy and Buildings 22, pp. 145-155.

Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378778894009124>